

Sveučilište u Zagrebu  
**Fakultet strojarstva i brodogradnje**

# **DIPLOMSKI RAD**

Filip Kos

Zagreb, 2010.

Sveučilište u Zagrebu  
**Fakultet strojarstva i brodogradnje**

DIPLOMSKI RAD

**BIOPLINSKO KOGENERACIJSKO  
POSTROJENJE NA PERADARSKOJ FARMI**

Voditelj rada:  
Doc. dr.sc. Dražen Lončar

Filip Kos

Zagreb, 2010.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Filip Kos**

Mat. br.: 0035149917

Naslov: **BIOPLINSKO KOGENERACIJSKO POSTROJENJE NA PERADARSKOJ FARMI**

Opis zadatka:

Proizvodnja i korištenje bioplina za pogon kogeneracijskog postrojenja predstavlja troškovno i energetski učinkovit način zbrinjavanja organskog otpada nastalog intenzivnom peradarskom proizvodnjom. Poticajno zakonodavno okruženje u RH, široka raspoloživost tehnologija za pretvorbu sirovina u bioplin kao i korištenje bioplina u proizvodnji električne i toplinske energije, podloga su za razmatranje opravdanosti izgradnje kogeneracijskih postrojenja na farmama različite veličine.

U okviru rada potrebno je

1. Procijeniti potencijal godišnje proizvodnje bioplina na peradarskoj farmi koja isporučuje približno milijun jedinki godišnje.
2. Dimenzionirati glavne komponente bioplinskog i kogeneracijskog postrojenja.
3. Simulirati pogon kogeneracijskog postrojenja i procijeniti mogućnost pokrivanja toplinskih potreba lokacije odnosno grijanja objekata ukupne površine 14.000 m<sup>2</sup>.
4. Odrediti glavne financijske pokazatelje projekta.
5. Procijeniti utjecaj sezonskih promjena sastava i količine bioplina na proizvodnju kogeneracijskog postrojenja.

U tekstu diplomskog rada potrebno je navesti korištenu literaturu i eventualnu pomoć pri izradi.

Zadatak zadan:

11. ožujka 2010.

Zadatak zadao:

Rok predaje rada:

Ožujak 2011.

Predsjednik Povjerenstva:

Doc.dr.sc. Dražen Lončar

Prof. dr. sc. Mladen Andrassy

## **Sažetak**

U okviru zadanog diplomskog zadatka, napravljen je kratak pregled razvoja i vrsta bioplinskih postrojenja kao i mogućnosti korištenja bioplina. U bioplinskom postrojenju na peradarskoj farmi proizvodi se bioplin koji se koristi u kogeneracijskoj jedinici za dobivanje električne energije i topline. Na temelju godišnjeg potencijala proizvodnje bioplina dimenzionirano je kogeneracijsko postrojenje. Da bi se zadovoljili uvjeti za rast životinja određene su potrebe peradarske farme za električnom energijom i toplinom kroz jednu godinu. Razmotren je sustav grijanja peradarske farme koji iskorištava toplinu proizvedenu u kogeneracijskoj jedinici da bi se uštedjelo gorivo za grijanje. Na kraju rada se ekonomskom analizom pokazuje isplativosti investicije u bioplinsko kogeneracijsko postrojenje na peradarskoj farmi.

## **Abstract**

Within a given task graduate, it is made a brief review of development and types of biogas plants as well as the possibility of using biogas. The biogas plant on poultry farms produce biogas that is used in a cogeneration unit producing electricity and heat. Based on the annual potential production of biogas cogeneration plant is sized. To meet the conditions for the growth of animals it is necessary to determine the needs of poultry farm for electricity and heat through one year. It is considered the heating system of poultry farm which exploits the heat produced in cogeneration unit to save the fuel for heating. At the end of the graduate work the economic analysis shows the profitability of investments in biogas cogeneration plant at poultry farm.

## Sadržaj

SAŽETAK .....	I
ABSTRACT .....	I
SADRŽAJ .....	II
POPIS SLIKA .....	V
POPIS TABLICA .....	VIII
POPIS OZNAKA .....	IX
IZJAVA .....	XII
<b>1 UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2 BIOPLIN .....</b>	<b>2</b>
2.1 IZGRAĐENA BIOPLINSKA POSTROJENJA .....	3
2.1.1 Njemačka .....	3
2.1.2 Republika Hrvatska .....	5
2.2 TEHNOLOGIJE BIOPLINSKIH POSTROJENJA .....	6
2.2.1 Poljoprivredno bioplinsko postrojenje .....	6
2.2.1.1 Mala bioplinska postrojenja (za obiteljska gospodarstva) .....	7
2.2.1.2 Srednje velika bioplinska postrojenja (za poljoprivredna gospodarstva) .....	7
2.2.1.3 Velika postrojenja (centralizirana bioplinska postrojenja) .....	8
2.2.2 Postrojenja za obradu otpadnih voda .....	11
2.2.3 Postrojenja za izgaranje krutog komunalnog otpada .....	11
2.2.4 Proizvodnja deponijskog plina .....	11
2.3 PREDNOSTI PROIZVODNJE BIOPLINA .....	12
2.3.1 Ekonomski razlozi .....	12
2.3.2 Ekološki razlozi .....	12
2.3.3 Socijalni razlozi .....	13
2.3.4 Korištenje topline .....	13
2.4 UPOTREBA BIOPLINA .....	14
2.4.1 Proizvodnja toplinske energije iz bioplina .....	14
2.4.2 Upotreba bioplina u kogeneracijskim postrojenjima .....	14
2.4.3 Proizvodnja biometana .....	15
2.5 OPIS BIOPLINSKOG POSTROJENJA NA PERADARSKOJ FARMI .....	16
2.5.1 Prihvatna jedinica .....	17
2.5.2 Reaktor za hidrolizu .....	17

2.5.3	<i>Sustav punjenja</i> .....	17
2.5.4	<i>Fermentator</i> .....	18
2.5.5	<i>Cjevovodi i armatura</i> .....	20
2.5.6	<i>Tehnologije miješanja</i> .....	20
2.5.7	<i>Spremnik bioplina</i> .....	21
2.5.8	<i>Dorada bioplina za upotrebu</i> .....	23
2.5.9	<i>Skladištenje digestata</i> .....	24
2.5.10	<i>Vođenje, nadzor i regulacija</i> .....	25
<b>3</b>	<b>PERADARSKA FARMA</b> .....	<b>28</b>
3.1	KAPACITET FARME .....	28
3.2	ENERGETSKE POTREBE .....	28
3.2.1	<i>Električna energija</i> .....	28
3.2.1.1	<i>Rasvjeta</i> .....	29
3.2.1.2	<i>Transport hrane</i> .....	29
3.2.1.3	<i>Transport vode</i> .....	30
3.2.1.4	<i>Grijanje</i> .....	30
3.2.1.5	<i>Ventilacija</i> .....	30
3.2.2	<i>Toplina</i> .....	31
3.3	POTROŠNJA VODE .....	33
3.4	POTENCIJAL PROIZVODNJE BIOPLINA .....	33
3.5	DIMENZIONIRANJE GLAVNIH KOMPONENATA BIOPLINSKOG POSTROJENJA .....	34
3.5.1	<i>Fermentator</i> .....	34
3.5.2	<i>Spremnik digestata</i> .....	34
3.5.3	<i>Prihvatna jedinica</i> .....	34
<b>4</b>	<b>TOPLINSKE POTREBE</b> .....	<b>35</b>
4.1	TOPLINSKO OPTEREĆENJE PERADARNIKA .....	36
4.1.1	<i>Proračun transmisivskih toplinskih gubitaka</i> .....	37
4.1.1.1	<i>Vanjski zidovi</i> .....	38
4.1.1.2	<i>Pod</i> .....	39
4.1.1.3	<i>Kosi krov</i> .....	39
4.1.2	<i>Proračun ventilacijskih toplinskih gubitaka</i> .....	40
4.1.3	<i>Toplinski dobici</i> .....	41
4.1.4	<i>Ukupno toplinsko opterećenje</i> .....	41

4.2	GRIJANJE I VENTILACIJA PERADARNIKA.....	42
4.2.1	<i>Grijanje peradarnika.....</i>	42
4.2.2	<i>Ventilacija peradarnika.....</i>	46
4.3	PROCJENA TOPLINSKOG OPTEREĆENJA PO TURNUSIMA.....	48
<b>5</b>	<b>KOGENERACIJSKO POSTROJENJE .....</b>	<b>55</b>
5.1	DIMENZIONIRANJE BIOPLINSKOG KOGENERACIJSKOG POSTROJENJA .....	56
5.2	TOPLINA IZ KOGENERACIJSKE JEDINICE .....	62
5.3	UŠTEDA GORIVA ZA GRIJANJE PERADARSKE FARME ZBOG UPOTREBE TOPLINE IZ KOGENERACIJSKOG POSTROJENJA .....	62
5.4	STRATEGIJE VOĐENJA KOGENERACIJSKIH POSTROJENJA .....	64
<b>6</b>	<b>EKONOMSKA ANALIZA .....</b>	<b>65</b>
6.1	INVESTICIJSKI I POGONSKI TROŠKOVI BEZ BIOPLINSKOG KOGENERACIJSKOG POSTROJENJA NA PERADARSKOJ FARMI .....	65
6.1.1	<i>Investicijski troškovi peradarske farme .....</i>	65
6.1.2	<i>Godišnji troškovi peradarske farme .....</i>	65
6.1.3	<i>Troškovi peradarske farme .....</i>	67
6.2	INVESTICIJSKI I POGONSKI TROŠKOVI BIOPLINSKOG KOGENERACIJSKOG POSTROJENJA NA PERADARSKOJ FARMI .....	68
6.2.1	<i>Investicijski troškovi izgradnje bioplinskog kogeneracijskog postrojenja na peradarskoj farmi.....</i>	68
6.3	USPOREDBA INVESTICIJSKIH I POGONSKIH TROŠKOVA SA I BEZ UGRAĐENOG BIOPLINSKOG KOGENERACIJSKOG POSTROJENJA .....	69
6.3.1	<i>Godišnji prihodi .....</i>	69
6.3.2	<i>Godišnja ušteda.....</i>	69
6.3.3	<i>Godišnji troškovi .....</i>	69
6.3.4	<i>Rekapitulacija svih troškova i prihoda.....</i>	70
6.3.5	<i>Jednostavni period povrata investicije u bioplinsko postrojenje.....</i>	71
6.4	ANALIZA OSJETLJIVOSTI .....	72
<b>7</b>	<b>ZAKLJUČAK.....</b>	<b>75</b>
<b>8</b>	<b>LITERATURA.....</b>	<b>76</b>

## Popis slika

Slika 2.1. Kukuruzna silaža.....	2
Slika 2.2. Otpad iz restorana i ugostiteljstva.....	2
Slika 2.3. Broj instaliranih bioplinskih sustava u Njemačkoj.....	4
Slika 2.4. Instalirani električni kapacitet dobiven bioplinom (Njemačka) .....	4
Slika 2.5. Shematski prikaz bioplinskog postrojenja s horizontalnim digestorom.....	8
Slika 2.6. Shematski prikaz bioplinskog postrojenja s mekanom membranom na fermentatoru .....	8
Slika 2.7. Centralizirano bioplinsko postrojenje .....	9
Slika 2.8. Shematski prikaz zaokruženog ciklusa centraliziranog postrojenja za anaerobnu digestiju .....	10
Slika 2.9. Glavni smjerovi integralnog koncepta anaerobne digestije u centraliziranim bioplinskim postrojenjima.....	10
Slika 2.10. Sustav za prikupljanje i iskorištavanje deponijskog plina.....	11
Slika 2.11. Kogeneracijska jedinica za proizvodnju.....	12
Slika 2.12. Dozator krutih supstrata .....	12
Slika 2.13. Mogućnosti korištenja bioplina.....	14
Slika 2.14. Kogeneracijska jedinica.....	15
Slika 2.15. Kogeneracijska jedinica.....	15
Slika 2.16. Glavne komponente bioplinskog postrojenja .....	16
Slika 2.17. Prihvatna jedinica.....	17
Slika 2.18. Miješalica u prihvatnoj jedinici .....	17
Slika 2.19. Sustav za pumpanje .....	18
Slika 2.20. Sustav za pumpanje.....	18
Slika 2.21. Vertikalni fermentator prekriven plino-nepropusnom membranom pričvršćenom na stup .....	19
Slika 2.22. Horizontalni fermentator .....	19
Slika 2.23. Sustav grijanja.....	20
Slika 2.24. Cijevi za grijanje instalirane u fermentator .....	20
Slika 2.25. Sigurnosni ventil na plinovodu .....	20
Slika 2.26. Izolirane cijevi za plin .....	20
Slika 2.27. Miješalica s horizontalnom osovinom.....	21
Slika 2.28. Miješalica s dijagonalnom osovinom .....	21
Slika 2.29. Spremnik plina .....	22



Slika 2.30. Mreža za ograničavanje širenja membrane .....	22
Slika 2.31. Baklja za bioplin .....	23
Slika 2.32. Sustav za biološku oksidaciju $H_2S$ .....	24
Slika 2.33. Spremnik za odvajanje sumporovodika .....	24
Slika 2.34. Spremnik za skladištenje digestata.....	25
Slika 2.35. Spremnik za skladištenje digestata.....	25
Slika 2.36. Spremnik digestata prekriven membranom.....	25
Slika 2.37. Spremišta digestata prekrivena membranom.....	25
Slika 2.38. Sustav kontrole preko računala.....	26
Slika 2.39. Promatranja postrojenja na monitoru .....	26
Slika 2.40. Shema bioplinskog kogeneracijskog postrojenja na peradarskoj farmi sa svim komponentama .....	27
Slika 3.1. Potrošnja električne energije po područjima primjene.....	31
Slika 3.2. Spremnik propana .....	32
Slika 4.1. Plinska infra grijalica .....	42
Slika 4.2. Plinske infra grijalice .....	43
Slika 4.3. Izolacija cijevi za toplu vodu .....	44
Slika 4.4. Izmjenjivači topline sa ventilatorima .....	44
Slika 4.5. Izmjenjivači topline sa ventilatorima .....	44
Slika 4.6. Kombinacija krovne i tunelske ventilacije peradarnika .....	46
Slika 4.7. Tlocrtni prikaz kombinirane ventilacije .....	46
Slika 4.8. Krovni ventilator .....	47
Slika 4.9. Krovni ventilator .....	47
Slika 4.10. Krovni ventilator .....	47
Slika 4.11. Dimenzije ventilatora Airmaster VC 130.....	47
Slika 4.12. Ventilator Airmaster.....	47
Slika 4.13. Rast mase pilića u turnusu .....	48
Slika 4.14. Ovisnost temperature u peradarniku o masi pilića.....	48
Slika 4.15. Satne temperature u razdoblju 21.11.2007. do 17.01.2008. (1. turnus) .....	49
Slika 4.16. Satne temperature u razdoblju 24.01.2008. do 20.03.2008. (2. turnus) .....	49
Slika 4.17. Satne temperature u razdoblju 27.03.2008. do 22.05.2008. (3. turnus) .....	49
Slika 4.18. Satne temperature u razdoblju 29.05.2008. do 23.07.2008. (4. turnus) .....	50
Slika 4.19. Satne temperature u razdoblju 31.07.2008. do 26.09.2008. (5. turnus) .....	50
Slika 4.20. Satne temperature u razdoblju 20.10.2008. do 16.12.2008. (6. turnus) .....	50

Slika 4.21. Odavanje topline pilića ovisno o njihovoj masi.....	51
Slika 4.22. Toplinski dobici od pilića u turnusu.....	51
Slika 4.23. Toplinsko opterećenje u 2. turnusu (najniže vanjske temperature) .....	52
Slika 4.24. Toplinsko opterećenje u 5. turnusu (najviše vanjske temperature).....	52
Slika 4.25. Dijagram ukupnog toplinskog opterećenja tijekom jedne sezone (od početka 1. turnusa do kraja 6. turnusa).....	53
Slika 5.1. Razlika efikasnosti kogeneracije i konvencionalne elektrane .....	55
Slika 5.2. Krivulja trajanja opterećenja (LDC krivulja) .....	57
Slika 5.3. Vanjska ugradnja kogeneracijske jedinice .....	58
Slika 5.4. Vanjska ugradnja kogeneracijske jedinice .....	58
Slika 5.5. Kogeneracijski modul JMS 208 GS-B.L.....	58
Slika 5.6. Osnovne dimenzije kogeneracijskog modula .....	61
Slika 5.7. Osnovne dimenzije kontejnera.....	61
Slika 5.8. Shematski prikaz grijanja vode u kogeneracijskoj jedinici .....	62
Slika 6.1. Raspodjela investicijski troškova.....	71
Slika 6.2. Ovisnost jednostavnog perioda povrata investicije o cijeni propana.....	72
Slika 6.3. Ovisnost jednostavnog perioda povrata investicije o omjeru prodajne i nabavne cijene električne energije .....	73
Slika 6.4. Ovisnost jednostavnog perioda povrata investicije o cijeni kukuruzne silaže .....	73
Slika 6.5. Ovisnost jednostavnog perioda povrata investicije o proizvodnji bioplina .....	74
Slika 6.6. Ovisnost jednostavnog perioda povrata investicije o investicijskim troškovima ....	74

## Popis tablica

Tablica 2.1. Temperatura i duljina trajanja procesa .....	3
Tablica 2.2. Potrebni uvjeti za izgaranje bioplina s relativnim udjelom kisika od 5% .....	23
Tablica 3.1. Potrošnja električne energije na grijanje u sezoni .....	30
Tablica 3.2. Potreba topline po turnusima .....	32
Tablica 3.3. Potrošnja propana za grijanje samo s infra grijalicama .....	32
Tablica 4.1. Slojevi građevnog materijala vanjskih zidova .....	38
Tablica 4.2. Slojevi građevnog materijala podova .....	39
Tablica 4.3. Slojevi građevnog materijala krovova .....	39
Tablica 4.4. Rezultati toplinskog opterećenja po turnusu .....	54
Tablica 5.1. Tehnički podaci kogeneracijskog modula JMS 208 GS-B.L .....	58
Tablica 5.2. Karakteristike motora u kogeneracijskoj jedinici .....	59
Tablica 5.3. Dodatne informacije o kogeneracijskoj jedinici .....	59
Tablica 5.4. Karakteristike generatora .....	60
Tablica 5.5. Dimenzije modula .....	61
Tablica 5.6. Dimenzije priključaka na modulu .....	61
Tablica 5.7. Dimenzije kontejnera .....	61
Tablica 5.8. Dimenzije priključaka na kontejneru .....	61
Tablica 5.9. Potrošnja propana .....	62
Tablica 5.10. Potrošnja propana u zimskim turnusima (iskorištava se 120 kW topline iz kogeneracije) .....	63
Tablica 5.11. Realna potrošnja goriva nakon upotrebe topline iz kogeneracije .....	63
Tablica 6.1. Investicijski troškovi peradarske farme bez bioplinskog kogeneracijskog postrojenja .....	65
Tablica 6.2. Cijene električne energije za poduzetništvo .....	66
Tablica 6.3. Troškovi električne energije .....	66
Tablica 6.4. Ukupni godišnji troškovi na peradarskoj farmi .....	67
Tablica 6.5. Investicijski troškovi bioplinskog postrojenja .....	68
Tablica 6.6. Investicijski troškovi sustava grijanja .....	68

## Popis oznaka

Oznaka	Mjerna jedinica	Fizikalna veličina
A	$m^2$	površina pojedinog građevnog elementa
$A_z$	$m^2$	površina vanjskog zida
$A_k$	$m^2$	površina krova
$A_p$	$m^2$	površina poda
$c_{p,zr}$	J/kgK	specifični toplinski kapacitet zraka
d	m	širina peradarnika
$f_k$	-	temperaturni korekcijski faktor pojedinog građevinskog elementa koji uzima u obzir razliku temperature u zadanom slučaju i vanjske projektne temperature
$H_{d,bp}$	kWh/ $m^3$	donja ogrijevna vrijednost bioplina
h	m	visina peradarnika
l	m	duljina peradarnika
$m_{OT}$	kg	masa krute organske tvari
$m_{S,uk}$	kg	ukupna godišnja masa supstrata
$m_p$	kg	masa pilića
$m_{sil}$	kg	masa kukuruzne silaže
$m_v$	kg	masa otpadne vode
n	-	broj pilića u peradarniku
$n_p$	-	ukupan broj pilića
$N_{gr}$	-	broj infra grijalica
$R_\lambda$	$m^2K/W$	otpor provođenja topline

R	$\text{m}^2\text{K/W}$	otpor prolaza topline
s	m	debljina stjenke
U	$\text{W/m}^2\text{K}$	koeficijent prolaza topline
V	$\text{m}^3$	volumen peradarnika
$V_{\text{bp,d}}$	$\text{m}^3$	volumen dnevne proizvodnje bioplina
$V_{\text{bp,god}}$	$\text{m}^3$	volumen godišnje proizvodnje bioplina
$V_{\text{zr,min}}$	$\text{m}^3$	najmanji potrebni volumen zraka
$V_S$	$\text{m}^3/\text{h}$	vršni volumni protok propana u peradarniku
$q_{V\text{max}}$	$\text{m}^3/\text{h}$	volumna potrošnja propana
$Q_{\text{bp,d}}$	kWh	dnevna energetska vrijednost bioplina
$Q_{\text{bp,god}}$	kWh	godišnja energetska vrijednost bioplina
$Q_{\text{gr}}$	W	snaga infra grijalica
$Q_{\text{uk,gr}}$	W	ukupna snaga infra grijalica
$\rho_{\text{zr}}$	$\text{kg/m}^3$	gustoća zraka
$\rho_{\text{p}}$	$\text{kg/m}^3$	gustoća propana
$\theta_{\text{int}}$	$^{\circ}\text{C}$	projektna temperatura zraka u grijanoj prostoriji
$\theta_{\text{e}}$	$^{\circ}\text{C}$	vanjska projektna temperatura
$\lambda$	$\text{W/mK}$	koeficijent provođenja topline
$\alpha_{\text{i}}$	$\text{W/m}^2\text{K}$	koeficijent prijelaza topline na unutarnjoj strani stjenke
$\alpha_{\text{a}}$	$\text{W/m}^2\text{K}$	koeficijent prijelaza topline na vanjskoj strani stjenke
$\Phi_{\text{uk}}$	W	ukupni toplinski gubici grijanog prostora
$\Phi_{\text{uk,10}}$	W	ukupni toplinski gubici svih 10 peradarnika

$\Phi_T$	W	transmisijski toplinski gubici grijanog prostora
$\Phi_{T,z}$	W	transmisijski toplinski gubici kroz vanjske zidove
$\Phi_{T,p}$	W	transmisijski toplinski gubici kroz pod
$\Phi_{T,k}$	W	transmisijski toplinski gubici kroz krov
$\Phi_{T,uk}$	W	ukupni transmisijski toplinski gubici
$\Phi_V$	W	ventilacijski toplinski gubici grijanog prostora
$\Phi_{V,uk}$	W	ukupni ventilacijski toplinski gubici
$\Phi_{dob}$	W	metabolički toplinski dobici
$\Phi_{dob,uk}$	W	ukupni metabolički toplinski dobici

## **Izjava**

Izjavljujem da sam diplomski rad izradio samostalno koristeći se znanjem koje sam stekao na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu.

Ovom prilikom posebno se zahvaljujem mentoru doc. Dr. sc. Draženu Lončaru na održanim stručnim konzultacijama, mnogim korisnim savjetima tijekom izrade rada i naravno na velikom strpljenju.

Na kraju bih se zahvalio svojoj obitelji na pruženoj potpori tijekom studija.

Filip Kos

## **1 UVOD**

U suvremenom društvu nameće se problem zaštite okoliša. Kontinuirani porast nastajanja organskog otpada i stakleničkih plinova, zagađivanje vode i tla dovodi do globalnih klimatskih promjena. Dosadašnje nekontrolirano odlaganje otpada danas više nije prihvatljivo pa je u mnogim zemljama održivo upravljanje otpadom koje podrazumijeva i sprječavanje njegovog nastanka i smanjenju novih količina. Spaljivanje organskog otpada više ne predstavlja prikladan način njegovog zbrinjavanja pa se kao moguće rješenje javlja proizvodnja bioplina. Proizvodnja bioplina je optimalni proces za tretiranje životinjskog izmeta i gnojnice, kao i različite vrste organskog otpada, budući da se time ovi supstrati pretvaraju u obnovljivu energiju i ekološki prihvatljivo gnojivo u poljoprivredi. U zrako-nepropusnim reaktorima, zvanim digestori ili fermentatori dolazi do proizvodnje bioplina pomoću mikrobioloških procesa razlaganjem organske tvari bez prisutnosti kisika. Takav mikrobiološki proces, koji je uobičajen u prirodnom okolišu, zove se anaerobna digestija ili fermentacija. U procesu anaerobne razgradnje djelovanjem različitih vrsta mikroorganizama nastaju dva glavna proizvoda, a to su bioplin i digestat. Bioplin je zapaljivi plin koji se sastoji od metana, ugljikovog dioksida i ostalih plinova. Digestat je anaerobno razgrađen supstrat, bogat makro- i mikro-nutrijentima što ga čini prikladnim biljnim gnojivom. Bioplinska postrojenja koja prerađuju sirovine iz poljoprivrede predstavljaju jednu od najvažnijih primjera anaerobne digestije. Bioplin predstavlja jeftin i CO<sub>2</sub> neutralan izvor obnovljive energije, koji daje mogućnost prerade i recikliranja raznih poljoprivrednih ostataka i sporednih proizvoda na održiv i ekološki prihvatljiv način. U bioplinskim postrojenjima bioplin se može pročišćavati i odvoditi u plinovod ili se odvodi u poseban spremnik bioplina, te se spaljuje u kotlu, motoru s unutrašnjim izgaranjem ili kogeneracijskoj jedinici pri čemu nastaje električna energija i toplota. Bioplin sa sobom povlači i brojne socio-ekonomske koristi za društvo kao cjelinu, ali i za one koji su uključeni u njegovu proizvodnju i iskorištavanje. Svakodnevno raste broj poljoprivrednih bioplinskih postrojenja, te je sve više proizvođača bioplina koji će imati koristi od implementacije tehnologija za proizvodnju obnovljive energije, te će doprinijeti rješavanju važnih problema zagađenja okoliša, te pružiti podršku održivom ruralnom razvoju, a time i poljoprivrednom sektoru. [1]



## 2 BIOPLIN

Bioplin je plinovito gorivo koje se dobiva anaerobnom razgradnjom organskih tvari, uključujući gnojivo, kanalizacijski mulj, komunalni otpad ili bilo koji drugi biorazgradivi otpad. Sastoji se od oko 60% metana, 35% ugljičnog dioksida te 5% smjese vodika, dušika, amonijaka, sumporovodika, ugljičnog monoksida, kisika i vodene pare. Svojstva bioplina kao goriva u uskoj su vezi s udjelom metana. Ogrjevna vrijednost je izravno proporcionalna količini metana i kreće se od 22 do 25 MJ/m<sup>3</sup> što daje energetska vrijednost od 6.1 do 6.9 kWh/m<sup>3</sup>. [5]

Bioplin nastao fermentacijom bez prisutnosti kisika sadrži metan i ugljik-dioksid u volumnom omjeru 2:1 te se može upotrebljavati kao gorivo. Glavna hrana za bakterije su elementarni dušik, ugljik i anorganske soli. Omjer između ugljika i dušika treba biti između 20:1 do 25:1. Da bi se to postiglo potrebno je miješati životinjski izmet sa biljnim otpacima. Različiti tipovi biomase se upotrebljavaju kao supstrati u anaerobnoj fermentaciji za proizvodnju bioplina: stajski gnoj i gnojnice, ostaci i nusproizvodi iz poljoprivredne proizvodnje, razgradivi organski otpad iz poljoprivredne i prehrambene industrije (ostaci biljnog i životinjskog porijekla), organski dio komunalnog otpada i otpada iz ugostiteljstva (ostaci biljnog i životinjskog porijekla), otpadni muljevi, energetske usjevi (kukuruz, različite vrste trava, djetelina).



Slika 2.1. Kukuruzna silaža



Slika 2.2. Otpad iz restorana i ugostiteljstva

Supstrati sa sadržajem suhe tvari manjim od 20% koriste se za tzv „mokru digestiju“. U tu kategoriju supstrata svrstavaju se stajski gnoj i gnojnice kao i organski otpad iz prehrambene industrije s visokim sadržajem vode. Kada je u supstratu sadržaj suhe tvari 35% ili veći, proces digestije se naziva „suha digestija“, a tipičan je za anaerobnu digestiju energetskih

usjeva i silaža. Odabir tipa i količine sirovine pogodne za substratnu mješavinu ovisi o udjelu suhe tvari te o sadržaju šećera, masnoća i bjelančevina. Proces nastanka bioplina rezultat je niza povezanih procesnih koraka tijekom kojih se inicijalni supstrat razlaže na sve jednostavnije spojeve, sve do nastanka bioplina. Anaerobna digestija može se odvijati na različitim temperaturama. Temperature se klasificiraju u tri temperaturne zone: psihrofilnu temperaturnu zonu (ispod 25°C), mezofilnu zonu (25 – 45°C) i termofilnu zonu (45 – 70°C). Duljina trajanja postupka AD u direktnoj je vezi s temperaturom na kojoj se postupak odvija (tablica 2.1).

Tablica 2.1. Temperatura i duljina trajanja procesa

Temperaturna zona	Procesne temperature	Minimalno vrijeme trajanja procesa
Psihrofilno	< 20°C	70 do 80 dana
Mezofilno	od 30 do 42 °C	30 do 40 dana
Termofilno	od 43 do 55 °C	15 do 20 dana

Temperaturu procesa važno je održati konstantnom jer promjene temperature negativno utječu na proizvodnju bioplina. Mezofilne bakterije su bakterije koje rastu u temperaturnom rasponu od 20 do 45 °C (mezofilno). One podnose promjene temperature od +/- 3°C bez znatnih smetnji u proizvodnji bioplina. Termofil je mikroorganizam koji je sposoban razvijati se na temperaturama većim od 45 °C. Termofilne bakterije su osjetljive na variranja temperature od +/- 1°C te im je potrebno duže vremena da se prilagode novonastalim uvjetima i dosegnu maksimalnu proizvodnju metana. [1]

## 2.1 Izgrađena bioplinska postrojenja

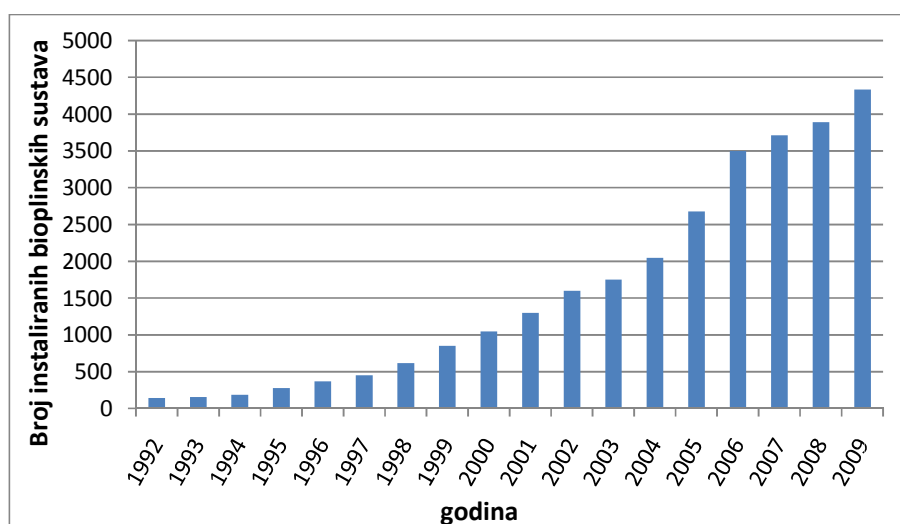
### 2.1.1 Njemačka

U Njemačkoj se krajem 2010. godine očekuje da će u pogonu biti oko 5000 bioplinskih postrojenja što je 5 puta više nego prije 10 godina. Postrojenja su ukupnog električnog kapaciteta 2 GW što je jednako kapacitetu dviju većih elektrana, ali su bioplinska postrojenja raspršena po cijeloj zemlji.

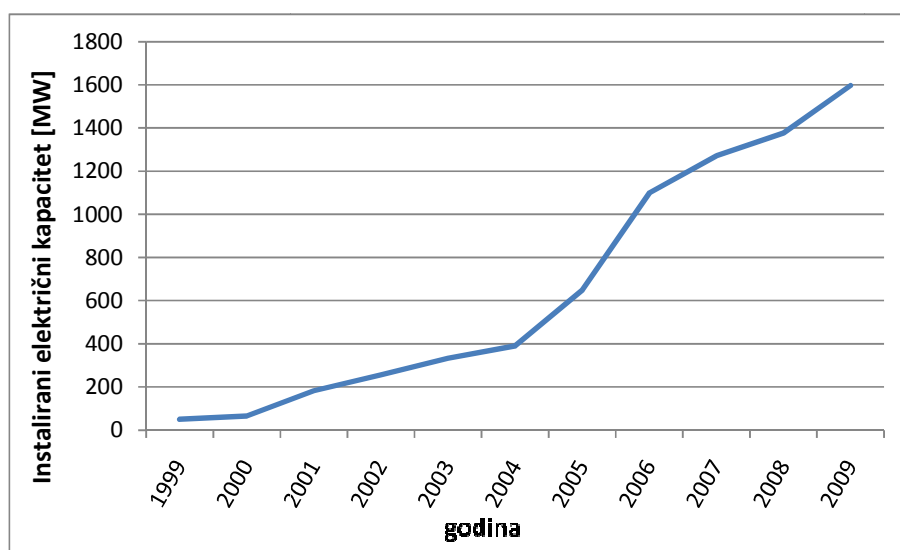
U drugoj polovici 2009. godine potražnja za bioplinom je naglo porasla na njemačkom tržištu nakon što je gotovo iščezla u 2008. godini. Prema podacima Njemačke udruge za bioplin na

kraju 2009. godine je bilo instalirano oko 4500 sustava čiji je ukupni električni kapacitet 1650 MW, a u samoj 2009. godini je instalirano oko 600 sustava ukupnog električnog kapaciteta 300 MW. Bioplinom se pokriva oko 2% njemačke potrošnje električne energije, a njegovim izgaranjem se smanjuje oko devet milijuna tona ugljičnog dioksida u odnosu na fosilna goriva. Najviše bioplinski postrojenja je u pokrajinama Bayern (1500), Niedersachsen (710) i Baden-Wuttermberg (594).

Novi bonusi za tekući izmet uspostavljeni su sa njemačkim zakonom za obnovljive izvore energije što je rezultiralo porastom malih farma sa sustavima kapaciteta od 180 do 250 kW. Četvrtina novih sustava je kapaciteta od 500 do 1000 kWe.



Slika 2.3. Broj instaliranih bioplinskih sustava u Njemačkoj



Slika 2.4. Instalirani električni kapacitet dobiven bioplinom (Njemačka)

Sve veći broj općinskih ili regionalnih energetske dobavljača počinje vlastiti posao vezan uz proizvodnju bioplina.

Mnogo je načina kako upotrebljavati bioplin, ali nisu svi načini efikasni. Da li ga pretvarati u električnu energiju ili ga koristiti za izgaranje ili za pogon vozila? Proizvođači bioplina u Njemačkoj se još uvijek ne mogu dogovoriti o budućim strategijama upotrebe i ekspanzije bioplina. Rasprava se vodi oko prodajnih cijena električne energije i otvaranja tržišta za toplinu nastalu iz bioplina. [3]

### **2.1.2 Republika Hrvatska**

Cilj nove energetske strategije razvoja Republike Hrvatske je: smanjiti emisije stakleničkih plinova do 2020. godine u skladu s obvezama iz predstojećih pregovora u okviru UN konvencije o promjeni klime, za 9 % smanjiti neposrednu potrošnju energije do 2016. primjenom mjera energetske učinkovitosti, osigurati 20 % udjela obnovljivih izvora u neposrednoj potrošnji energije i 20 % obnovljivih izvora energije u proizvodnji topline, osigurati 10 % udjela biogoriva u potrošnji benzina i dizelskog goriva u prometu do 2020. godine i osigurati 35 % udjela proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije u ukupnoj proizvodnji električne energije u 2020. godini.

Što se tiče bioplina Republika Hrvatska je novom energetske strategijom postavila cilj da iz domaće poljoprivredne proizvodnje u energetske svrhe iskoristi u 2020. godini oko 5 % ukupnih uvjetnih grla (grlo stoke težine 500kg, a sve ostale vrste stoke se preračunavaju u uvjetna grla množenjem broja grla s koeficijentom određenim za tu vrstu) te da tako proizvede oko 650 TJ energije iz bioplina odnosno 26 milijuna m<sup>3</sup> bioplina. Pod stokom se podrazumijevaju sve one životinje koje se drže zbog uzgoja u svrhu dobijanja prehrambenih proizvoda i sirovina. [16]

Tržište bioplina je u svom začetku u Hrvatskoj što ga čini vrlo dinamičnim sektorom. U Hrvatskoj je do kraja 2008. godine radilo svega tri bioplinska postrojenja, s time da je samo jedno od njih koristilo sirovinu koja je porijeklom iz poljoprivrede.

Početkom 2009. godine najavljeni su sljedeći projekti za bioplinska postrojenja: Bioplinsko postrojenje Jagodnjak (Jagodnjak), Sizim-bio-nerg (Legrad), Bioplinsko postrojenje Tomašanci (Gorjani), Bioplinsko postrojenje Varaždin (Trnovec Bartolovečki), Bioplinsko postrojenje Ivankovo (Ivankovo), Bioplinsko postrojenje u sklopu farme pilića Rosulje

(Dvor), Bioplinska elektrana Pisarovina (Pisarovina), Bioplinsko postrojenje Semeljci (Semeljci), RES energetske projekti elektrana na bioplin Molve (Molve), Bioplinsko postrojenje Ivankovo 2 (Ivankovo), Bioplinsko postrojenje Tomašanci 2 (Gorjani), Postrojenje za proizvodnju bioplina i električne energije (Vukovar) i Bioplinsko postrojenje Slatina (Slatina). [6]

Sva nabrojana postrojenja su relativno mala te im se predviđena električna snaga kreće oko 1 MW, a samo jedno postrojenje je predviđeno sa 1.67 MW (Bioplinsko postrojenje Semeljci). Prema postojećem zakonodavnom okviru, najjednostavnije je imati kogeneracijsko postrojenje koje će prodavati električnu energiju prema tarifnom sustavu, a iskoristiti toplinsku energiju u sklopu svoje proizvodnje ili naći kupca. Otkupna cijena električne energije u 2010. godini iz bioplinskih postrojenja instalirane električne snage do 1 MW je 1.33 kn/kWh, a za bioplinska postrojenja iznad 1 MW električne snage je 1.15 kn/kWh. Velika je mogućnost da upravo prodajna cijena električne energije utječe na izgradnju bioplinskih postrojenja električne snage manje od 1 MW. [7]

## **2.2 Tehnologije bioplinskih postrojenja**

Možemo reći da su bioplinska postrojenja ona postrojenja u kojima se vrši proizvodnja bioplina. Bioplin se dobiva iz različitih vrsta supstrata anaerobnom digestijom pa tako imamo različite vrste bioplinskih postrojenja, a to su: poljoprivredna bioplinska postrojenja, postrojenja za obradu otpadnih voda, postrojenja za obradu krutog komunalnog otpada, industrijska postrojenja za proizvodnju bioplina, proizvodnja deponijskog bioplina, itd. [1]

### **2.2.1 Poljoprivredno bioplinsko postrojenje**

Na spomen bioplinskog postrojenja najčešće se misli na poljoprivredno bioplinsko postrojenje. Kod poljoprivrednih bioplinskih postrojenja za proizvodnju bioplina koriste se supstrati kao što su: stajski gnoj i gnojnice, ostaci i nusproizvodi iz poljoprivredne proizvodnje, razgradivi organski otpad iz poljoprivredne i prehrambene industrije (ostaci biljnog i životinjskog porijekla), energetske usjevi (kukuruz, sirak, različite vrste trave, djetelina). Bioplin se najčešće koristi kao gorivo u kogeneracijskom postrojenju u svrhu dobivanja električne energije i topline koju proizvodi plinski motor ili turbina. [1]

Postoje tri glavne kategorije poljoprivrednih bioplinskih postrojenja:

- mala postrojenja (za obiteljska gospodarstva)
- srednje velika postrojenja (za farme)
- velika postrojenja (centralizirana bioplinska postrojenja)

#### *2.2.1.1 Mala bioplinska postrojenja (za obiteljska gospodarstva)*

Proizvedeni bioplin kod ovih postrojenja služi za zadovoljenje kućanskih potreba kao što su kuhanje i rasvjeta. Organski otpad iz kućanstva služi kao supstrat za proizvodnju bioplina. Upravljanje i održavanje nije posebno zahtjevno jer nije potrebno ugraditi instrumente za kontrolu procesa kod ovakvih postrojenja. Uz ovakve karakteristike ide i niska cijena pa su pristupačni u zemljama s nižim standardom življenja. Ova postrojenja su se pojavila u zemljama s toplijom klimom pa nije potrebno zagrijavanje fermentatora. Ujedno se i tipovi postrojenja zovu po zemljama porijekla (Kina, Indija i Nepal). [1]

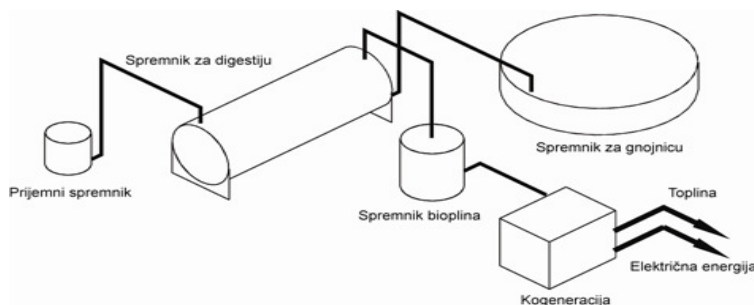
#### *2.2.1.2 Srednje velika bioplinska postrojenja (za poljoprivredna gospodarstva)*

Ovakva postrojenja karakteristična su za poljoprivredna gospodarstva. Dimenzionirana su u skladu s količinom supstrata koje nastaje na gospodarskoj farmi. Glavni supstrat je stajski gnoj. Sve se više grade ovakva postrojenja jer su poljoprivrednici shvatili da im proizvodnja bioplina omogućuje zbrinjavanje otpada nastalog na gospodarstvima i proizvodnju kvalitetnog gnojiva, ali i mogućnost sudjelovanja na tržištu obnovljivih izvora energije.

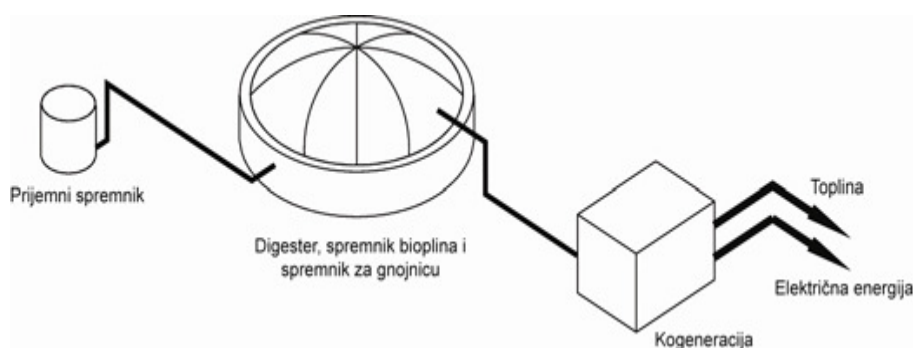
Postrojenja mogu biti napravljena većih ili manjih dimenzija, različitog dizajna i tehnologija, ali se više ili manje baziraju na istom principu rada: Supstrat se prikuplja u prihvatnoj jedinici iz kojeg se odvodi u fermentator koji je nepropustan za plinove, a izrađen od čelika ili betona i toplinski izoliran kako bi se temperatura procesa održala konstantnom.

Ostali dijelovi koji su neophodni kod konstruiranja bioplinskog postrojenja s miješanjem supstrata su: spremnika za skladištenje stajskog gnoja, spremnik za skladištenje digestata, spremnika za skladištenje proizvedenog bioplina i kogeneracijska jedinica.

Trećina topline dobivene u kogeneracijskoj jedinici koristi se za zagrijavanje i održavanje željene temperature u fermentatoru. Ostatak topline se odbacuje ili se koristi za grijanje peradarnika, staklenika ili nekog naseljenog područja ili gospodarske zone u kojoj je potrebna toplina tijekom cijele godine za procese sušenja ili grijanja. [1]



Slika 2.5. Shematski prikaz bioplinskog postrojenja s horizontalnim digestorom



Slika 2.6. Shematski prikaz bioplinskog postrojenja s mekanom membranom na fermentatoru

### 2.2.1.3 Velika postrojenja (centralizirana bioplinska postrojenja)

Kod centraliziranih postrojenja proizvodnja bioplina se temelji na anaerobnoj digestiji iz supstrata prikupljenih iz nekoliko poljoprivrednih gospodarstva. Ova gospodarstva su u središnjem položaju s obzirom na sva poljoprivredna gospodarstva te im je prednost u odnosu na bioplinska postrojenja za poljoprivredna gospodarstva što smanjuju troškove, vrijeme i radnu snagu za transport supstrata i digestata. Centralizirana postrojenja za proizvodnju bioplina odgovorna su za sakupljanje i prijevoz svježeg gnoja i gnojnice te odvoz digestata na poljoprivredna gospodarstva. [1]

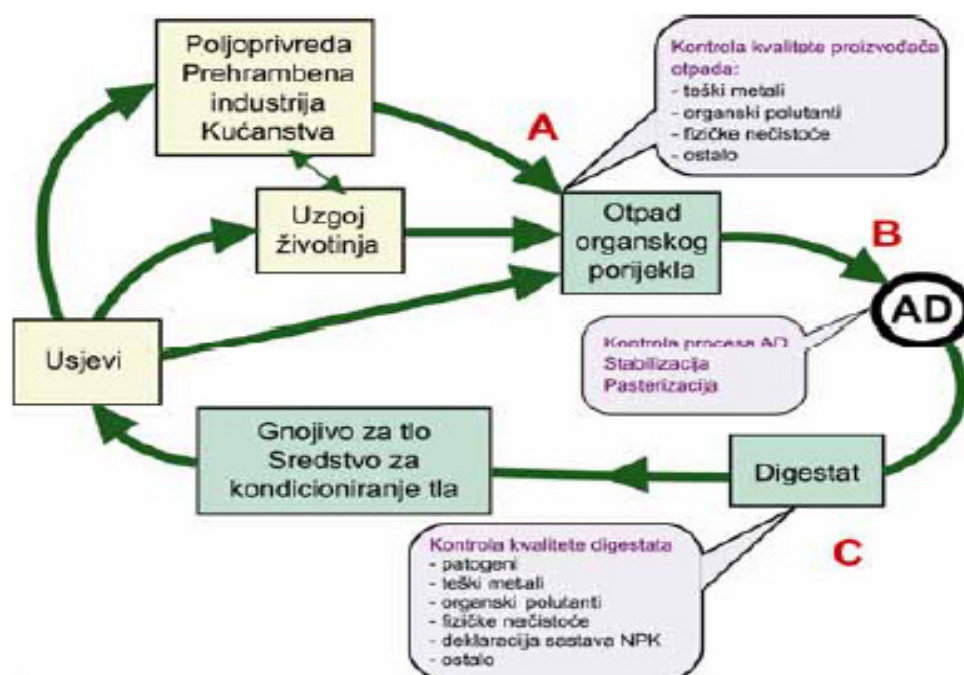


Slika 2.7. Centralizirano bioplinsko postrojenje

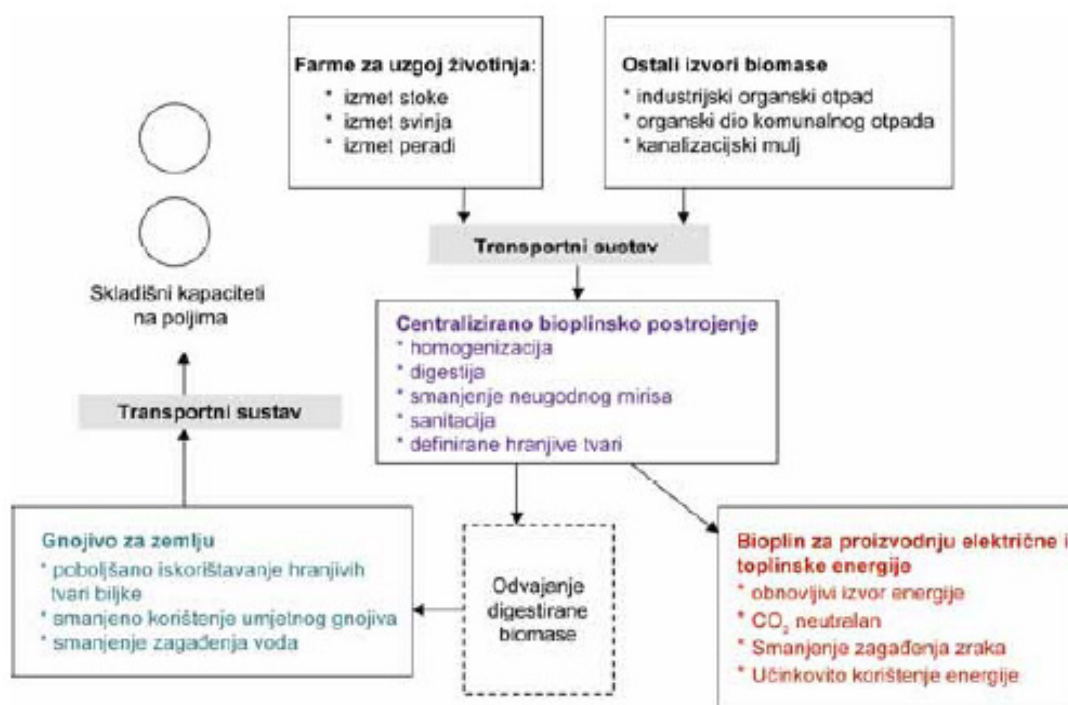
Proizvodnja energije iz obnovljivih izvora uz zbrinjavanje organskog otpada i recikliranje hranjiva je dio integriranog sustava. Ovakvo centralizirano postrojenje ima puno pozitivnih učinaka na okoliš i ostvarenje dodatnih prihoda za poljoprivrednike, operatere bioplinskih postrojenja i cjelokupno društvo. Prednosti centraliziranih postrojenja su:

- jeftino i po okoliš neškodljivo recikliranje stajskog gnoja i organskog otpada
- proizvodnja energije iz obnovljivih izvora
- smanjenje emisija stakleničkih plinova u atmosferu
- poboljšanje sanitarnih uvjeta kroz sanitarnu obradu digestata
- poboljšanje učinkovitosti gnojiva
- smanjenje pojave neugodnih mirisa te ekonomska korist za poljoprivrednike





Slika 2.8. Shematski prikaz zaokruženog ciklusa centraliziranog postrojenja za anaerobnu digestiju



Slika 2.9. Glavni smjerovi integralnog koncepta anaerobne digestije u centraliziranim bioplinskim postrojenjima

### 2.2.2 Postrojenja za obradu otpadnih voda

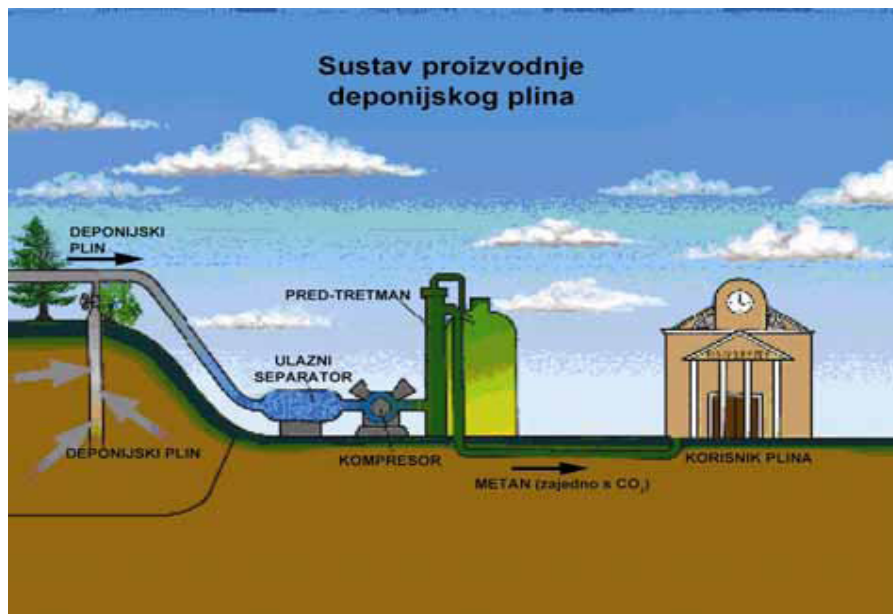
Anaerobna digestija se koristi i za obradu otpadnih muljeva nastalih aerobnom obradom otpadnih voda. Primjenjuje se u kombinaciji s tehnologijom za pročišćavanje komunalnih voda. Tekući ostatak se može koristiti kao gnojivo na poljoprivrednim površinama ili za proizvodnju energije spaljivanjem. [1]

### 2.2.3 Postrojenja za izgaranje krutog komunalnog otpada

Izgaranjem krutog komunalnog otpada u spalionicama veliki dio energije ostaje neiskorišten. Udio organskog otpada bi bilo potrebno izdvojiti prije spaljivanja jer ima visok potencijal za proizvodnju bioplina. Promjena uobičajenog tijeka organskog komunalnog otpada, odnosno odlaganja ili spaljivanja bilo bi potrebno zamijeniti recikliranjem i vraćanjem dijela hranjivih tvari u sektor poljoprivrede. [1]

### 2.2.4 Proizvodnja deponijskog plina

Odlagališta otpada su velika anaerobna postrojenja te proces anaerobne digestije ovisi o starosti otpada. Deponijski plin je sastavom jako sličan bioplinu. Prikupljanje deponijskog plina doprinosi stvaranju prihoda iz upotrebe bioplina.



Slika 2.10. Sustav za prikupljanje i iskorištavanje deponijskog plina

## 2.3 Prednosti proizvodnje bioplina

### 2.3.1 Ekonomski razlozi

Prije svega je potrebno navesti ekonomske razloge. Električna energija proizvedena pomoću bioplina otkupljuje se po poticajnoj cijeni. Budući da tijekom tog razdoblja otkupna cijena raste razmjerno kretanju cijena sirovina i ulaznih troškova, ovaj oblik poduzetništva jedan je od rijetkih kod kojih je unaprijed zajamčen povrat investicijskih ulaganja i stvaranje dobiti. Tomu je svakako potrebno pribrojiti i uštedu na preradi i zbrinjavanju organskog otpada te mogućnost naplate prerade određenih vrsta otpada, čije zbrinjavanje proizvođači inače moraju povjeriti specijaliziranim firmama. [4]



Slika 2.11. Kogeneracijska jedinica za proizvodnju električne energije



Slika 2.12. Dozator krutih supstrata

### 2.3.2 Ekološki razlozi

Ekološki razlozi su sljedeći razlozi koji bioplinska postrojenja čini zanimljivima za jedinice lokalne samouprave zbog očuvanja i zaštite okoliša. Pored činjenice da bioplinsko postrojenje, zahvaljujući proizvodnji energije iz obnovljivih izvora, predstavlja vrijedan doprinos očuvanju okoliša, valja istaknuti i mogućnost prerade organskog otpada.

U bioplinskim postrojenjima može se prerađivati kako organski otpad iz kućanstava i ugostiteljskih objekata, tako iz lokalne prehrambene industrije. Kao sirovina može poslužiti i otpadni mulj iz pročištača otpadnih voda. Sav navedeni otpad znatno opterećuje okoliš, a njegovo je zbrinjavanje povezano s velikim troškovima i komplikacijama vezanima uz zakonodavstvo. Bioplinska postrojenja ne samo da omogućavaju preradu takvog otpada, već i

ostvaruju godišnju dobit proizvodnjom odnosno prodajom bioplina ili električne energije koja se dobiva izgaranjem bioplina u kogeneracijskim jedinicama. [4]

### **2.3.3 Socijalni razlozi**

Nezanemariv je i doprinos bioplinskog postrojenja poboljšanju općeg socijalnog stanja na području korištenja. Pored činjenice da će i samo smanjenje onečišćenja naići na pozitivan odjek, valja spomenuti i mogućnost suradnje s lokalnim poljoprivrednicima.

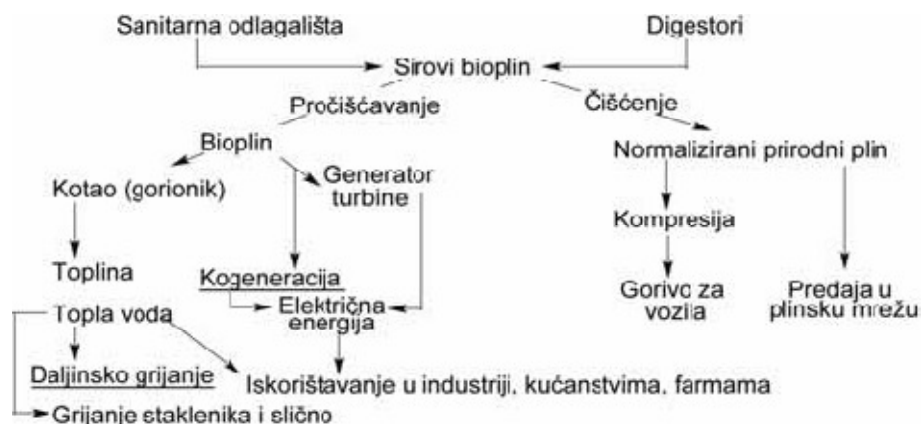
Budući da korištenje poljoprivrednih usjeva uvelike povećava učinkovitost i stabilnost procesa proizvodnje bioplina, otkupom usjeva ne samo da se poboljšavaju proizvodni i ekonomski parametri, već se poljoprivrednicima osiguravaju redoviti prihodi s dugoročnom perspektivom. Bioplinsko postrojenje otvara suradnju i mogućnost daljnje prerade ostataka od procesa proizvodnje bioplina, koji zapravo predstavljaju izuzetno kvalitetno gnojivo, osigurava socijalnu stabilnost, očuvanje radnih mjesta u mikroregiji, a prije svega ojačava dobre odnose unutar lokalne zajednice. Tomu bi zasigurno pridonijela i mogućnost korištenja jeftine otpadne toplinske energije. [4]

### **2.3.4 Korištenje topline**

Toplina u bioplinskom postrojenju nastaje kao nusprodukt pri proizvodnji električne energije. Tako nastala jeftina toplina može se koristiti u razne svrhe, ovisno o konkretnim uvjetima i potrebama - npr. za grijanje obiteljskih kuća, stanova i javnih zgrada, kao izvor toplinske energije za lokalnu poduzetničku ili industrijsku zonu ili objekte poput bazena i plivališta. Toplinu se može ponuditi i lokalnim poljoprivrednicima, primjerice za grijanje plastenika i staklenika ili za potrebe sušenja (žitarice, drvo...). Sve to naravno dodatno poboljšava ekonomsku isplativost bioplinskog postrojenja. [4]

## 2.4 Upotreba bioplina

Bioplin se može koristiti na različite načine ovisno o vrsti izvora i koju vrstu energije potražujemo. Najčešće se koristi za: proizvodnju toplinske energije direktnim izgaranjem, proizvodnju električne energije i topline u kogeneracijskim postrojenjima, distribuira se u plinsku mrežu ili se koristi se kao transportno gorivo. [1]



Slika 2.13. Mogućnosti korištenja bioplina

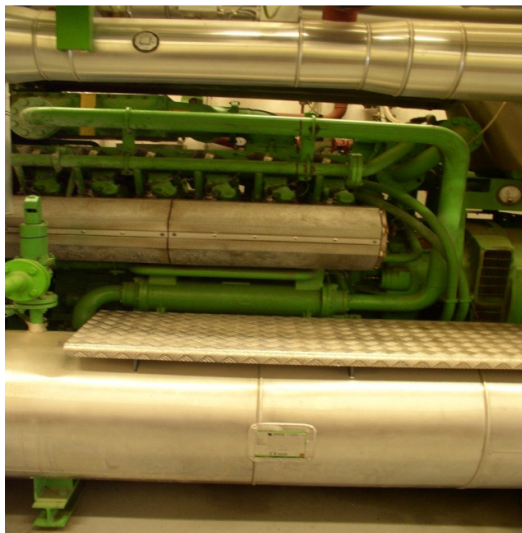
### 2.4.1 Proizvodnja toplinske energije iz bioplina

Bioplin izgara u kotlovima koji su namijenjeni za izgaranje prirodnog plina. Za dobivanje toplinske energije bioplin može izgarati na mjestu proizvodnje ili se pomoću plinovoda transportira do krajnjeg korisnika. Za proizvodnju toplinske energije bioplin nije potrebno posebno pročišćavati. [1]

### 2.4.2 Upotreba bioplina u kogeneracijskim postrojenjima

Najzastupljenija tehnologija upotrebe bioplina je u kogeneracijskim jedinicama za proizvodnju električne i toplinske energije. Budući da su kogeneracijske jedinice pokretane najčešće motorima sa unutrašnjim izgaranjem potrebno je bioplin osušiti i kondicionirati (2.5.8. Dorada bioplina za upotrebu). Ukupna iskoristivost kogeneracijskih postrojenja je od 85 do 90%. Valja napomenuti da na proizvodnju električne energije otpada oko 35% dok na toplinsku energiju oko 65%. Motor s unutrašnjim izgaranjem je povezan s generatorom za proizvodnju električne energije. Motori su plinski te rade na principu Otto motora ili Diesel motora. Proizvedenu električnu energiju je najpovoljnije isporučivati u mrežu u zemljama

gdje postoje povoljne cijene za otkup električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije (feed-in tarife). Električnu energiju za rad postrojenja je povoljnije kupovati iz mreže od distributera. Za korištenje toplinske energije vrlo su pogodna industrijska postrojenja u kojima se odvijaju procesi sušenja kao i za grijanje plastenika u poljoprivredi. Na kraju se može koristiti za grijanje i hlađenje nekog stambenog područja što je dodatna investicija. Ljeti se mogu koristiti apsorpcijski rashladni uređaji koji koriste otpadnu toplinu za dobivanje rashladne energije. [1]



Slika 2.14. Kogeneracijska jedinica



Slika 2.15. Kogeneracijska jedinica

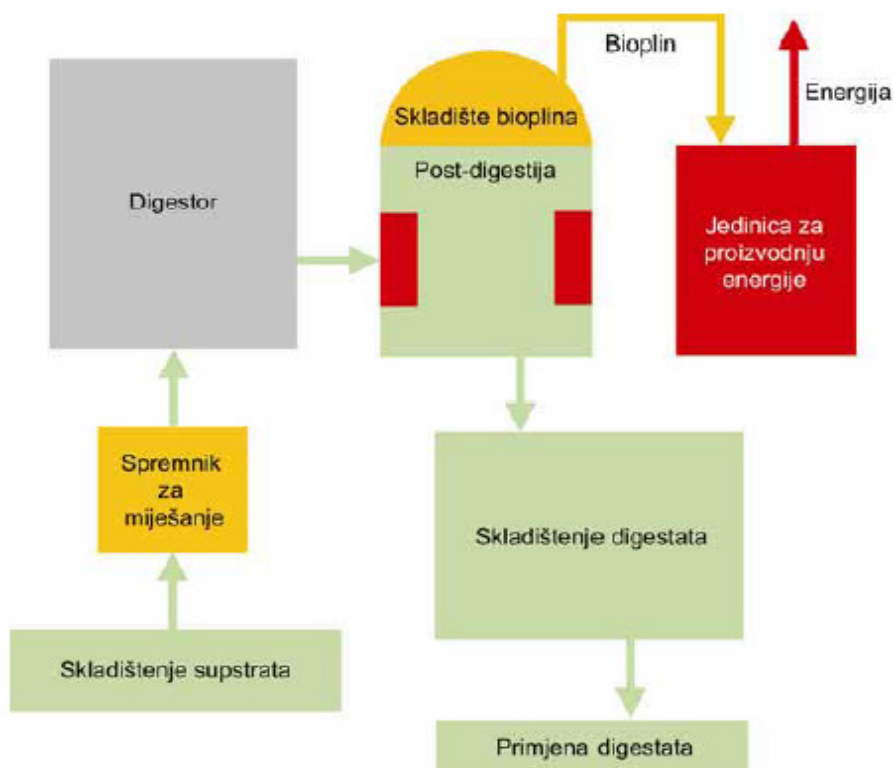
### 2.4.3 Proizvodnja biometana

Bioplin se mora doradivati i pročišćavati da bi se plasirao u distribucijsku plinsku mrežu ili da bi se koristio kao pogonsko gorivo za vozila. Za distribuciju bioplina u plinsku mrežu koncentracija metana u bioplinu mora biti iznad 95%. Takva dorada se može učiniti na nekoliko načina. Najuobičajeniji načini dorade bioplina je apsorpcijski proces (otapanje u vodi i otapanje pomoću organskih otapala). Postupak dorade bioplina u transportno gorivo vrlo je složen i skup postupak, a najkompleksniji njegov dio je kompletno uklanjanje ugljikovog dioksida. [1]



## 2.5 Opis bioplinskog postrojenja na peradarskoj farmi

Bioplinsko postrojenje je složena instalacija koja se sastoji od različitih komponenata. Na izgled postrojenja utječe vrsta i količina sirovine za proizvodnju bioplina. Postoje različite tehnike i tehnologije za preradu raznih vrsta sirovina tj. sustavi mogu funkcionirati na različite načine.

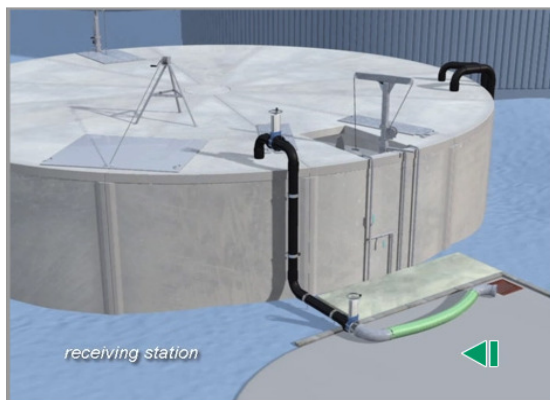


Slika 2.16. Glavne komponente bioplinskog postrojenja

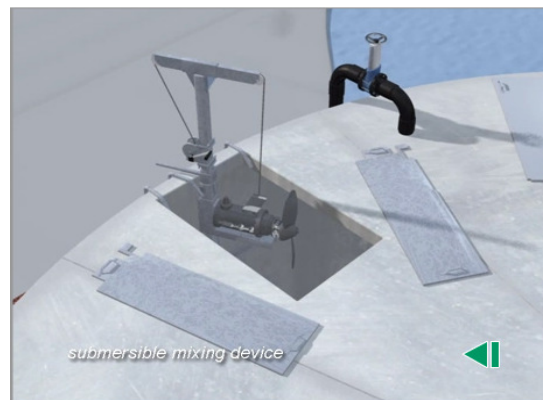
Izbor vrste i rasporeda elemenata bioplinskog postrojenja prvenstveno ovisi o dostupnoj sirovini. Količina sirovine određuje dimenzioniranje veličine fermentatora, kapacitet skladišta i kogeneracijskog postrojenja. Kvaliteta sirovine (udio suhe tvari, struktura, porijeklo...) određuje procesnu tehnologiju. Proizvedeni bioplin se skladišti, kondicionira i koristi za proizvodnju energije. [1]

### 2.5.1 Prihvatna jedinica

Važna je uloga prihvatne jedinice u radu bioplinskog postrojenja. Potrebno je osigurati kontinuiranu i dovoljnu količinu sirovine odgovarajuće kvalitete. Pri svakoj dostavi sirovine prvo je potrebno napraviti vizualnu kontrolu, a tek onda ide vaganje. Za pileći izmet predviđeno je da se zadržava u prihvatnoj jedinici 1 do 2 dana, a nakon toga se transportira (pumpa) u bioreaktor za hidrolizu. Supstrat razrijeđen vodom, miješa se, zagrijava i drži na temperaturi od 25 °C. [1] [8]



Slika 2.17. Prihvatna jedinica



Slika 2.18. Miješalica u prihvatnoj jedinici

### 2.5.2 Reaktor za hidrolizu

Nakon zadržavanja 1 do 2 dana u prihvatnoj jedinici pileći izmet se transportira u reaktor za hidrolizu. U njemu se zadržava 8 do 10 dana pod posebnim uvjetima. Potrebno je održavati temperaturu između 25 i 28 °C te kontrolirati vlagu i pH vrijednost. Produkt hidrolize je ugljikov dioksid ( $\text{CO}_2$ ) koji se ispušta u atmosferu ili se sakuplja u plinskoj komori. Zagrijavanje, miješanje i dodavanje vode je potrebno za bržu hidrolizu. [1] [8]

### 2.5.3 Sustav punjenja

Iz reaktora za hidrolizu potrebno je supstrat transportirati u fermentator. Pogodan način transporta za pileći izmet je pumpanje. Najčešće se koriste dvije vrste pumpi: centrifugalne i volumetričke.

Centrifugalne (rotirajuće) pumpe su često potopljene, ali mogu biti smještene i na suhoj osovini pored fermentatora. Volumetričke pumpe se češće koriste za transport tekućeg supstrata s većim udjelom suhe tvari. Stabilnije su u pogledu tlaka od centrifugalnih pa zbog toga mogu osigurati veće visine dobave. [1] [8]





Slika 2.19. Sustav za pumpanje



Slika 2.20. Sustav za pumpanje

### 2.5.4 Fermentator

Iz reaktora za hidrolizu sirovina se pumpa u fermentator gdje se odvija anaerobna digestija i proizvodi bioplin. Sirovina ostaje u fermentatoru 30 do 40 dana gdje se miješa i drži na temperaturi od 35 do 38 °C. Fermentator je zračno nepropusni spremnik koji se sastoji od sustava za punjenje supstratima i sustava za izlaz bioplina i digestata. Zbog povišene temperature na kojima se odvija anaerobna digestija potrebno je izraditi dobru izolaciju i sustav grijanja u fermentatoru. Fermentatori mogu biti izrađeni od različitih materijala kao što su: beton, čelik, cigla ili plastika. Smještaj im može biti ispod ili iznad površine tla. Izbor konstrukcije i vrsta se određuju prema udjelu suhe tvari u supstratu dok njegova veličina utječe na veličinu bioplinskog postrojenja. Postoje tri vrste fermentatora: vertikalni, horizontalni i s više spremnika.

Najčešće građeni tip fermentatora je vertikalni. Oni su u obliku zaokruženih spremišta od čelika ili armiranog betona i često imaju stožasto dno radi lakšeg miješanja i pražnjenja taloženog pijeska. Moraju biti grijani, izolirani, zračno nepropusni i opremljeni miješalicama ili pumpama. Ako im je krov napravljen od betona ili čelika onda ih je nužno cijevima povezati s spremnikom bioplina, a ako im je na krovu plino-nepropusna membrana nije potreban spremnik bioplina jer fermentator istovremeno služi kao skladište za proizvedeni bioplin. Bioplin napuše membranu ili je ona pričvršćena na središnji stup. Fermentatori od armiranog betona su dovoljno nepropusni za plin jer se beton zasiti vodom iz vlage sadržane u sirovini i bioplinu. Betonska spremišta mogu biti postavljena u potpunosti ili djelomično na tlu. Čelični fermentatori se instaliraju na betonsko temelje, a moraju se zavariti ili učvrstiti vijcima. Čelični fermentatori se uvijek instaliraju iznad razine tla.



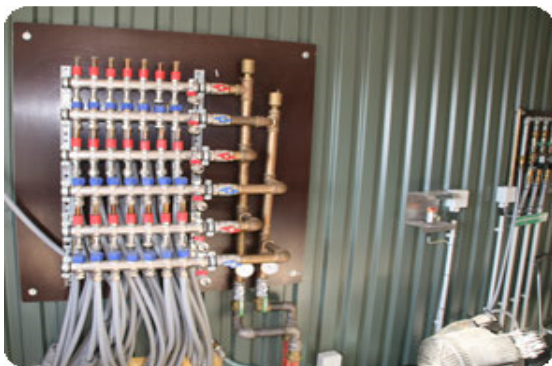
Slika 2.21. Vertikalni fermentator prekriven plino-nepropusnom membranom pričvršćenom na stup

Horizontalni fermentatori imaju cilindrični oblik. Najčešće se koriste za mala bioplinska postrojenja i obično se kupuju kao gotov proizvod te se transportiraju u jednom dijelu na mjesto ugradnje. Čelični fermentator je dimenzija od 50 do 150 m<sup>3</sup> dok betonski mogu biti do 1000 m<sup>3</sup>. Horizontalni fermentatori s kontinuiranim tijekom mogu se koristiti za sirovinu poput pilećeg izmeta kao reaktor za hidrolizu.



Slika 2.22. Horizontalni fermentator

Fermentatori se moraju toplinski izolirati i grijati pomoću vanjskih izvora topline radi postizanja i održavanja stabilne temperature procesa i nadoknade gubitaka topline, a za to se najčešće koristi otpadna toplina iz kogeneracijske jedinice bioplinskog postrojenja. Promjene temperature mogu dovesti do neravnoteže anaerobne digestije. Grijanje se vrši toplom vodom koja na ulazu ima temperaturu 60 °C dok na izlazu ima 40 °C. Cijevi za grijanje se mogu ugraditi u zid fermentatora ili s unutrašnje strane. U kogeneracijskoj jedinici voda za hlađenje generatora služi za grijanje fermentatora. Obično je za grijanje fermentatora potrebno prosječno oko 30 % topline proizvedene u kogeneracijskoj jedinici. Zimi je potrebno i do 70% dok je ljeti samo 10%. [1] [8] [9]



Slika 2.23. Sustav grijanja



Slika 2.24. Cijevi za grijanje instalirane u fermentator

### 2.5.5 Cjevovodi i armatura

Cjevovodi i armatura koji se upotrebljavaju u bioplinskom postrojenju moraju biti napravljeni od materijala koji su otporni na koroziju i koji su prikladni za rukovanje. Materijali su ovisni o tlaku koji je u cijevima. Najčešće odabrani materijali su PVC ili nehrđajući čelik. Sva vrsta ugrađene armature mora biti lako dostupna i laka za održavanje.

Cjevovodi za biomasu moraju biti pod nagibom 1 do 2% da se osigura njihovo pražnjenje. Plinovodi također moraju imati nagib, ali moraju biti i opremljeni ventilima za ispušt kondenzata jer i mala količina kondenzata može dovesti do blokade plinski cijevi. [1]



Slika 2.25. Sigurnosni ventil na plinovodu



Slika 2.26. Izolirane cijevi za plin

### 2.5.6 Tehnologije miješanja

Miješanje supstrata u fermentatoru se provodi zbog sprečavanja nastanka plutajuće kore, zbog dovođenja bakterija potrebnih za anaerobnu digestiju u sve slojeve, zbog boljeg ispuštanja mjehurići prema površini i bolje raspodjele topline. Osim miješanja nastalog dodavanjem nove količine sirovine (pasivno miješanje) provodi se još i mehaničko miješanje. Miješalice

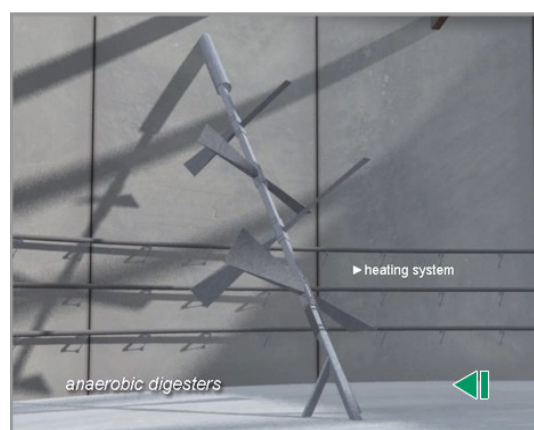
rade kontinuirano ili u intervalima. Ovisno o vrsti supstrata, veličini postrojenja i početnog punjenja vrši se optimizacija miješanja. Za miješanje u vertikalnim fermentatorima najzanimljivije su miješalice s lopaticama koje imaju horizontalnu, vertikalnu ili dijagonalnu osovinu, a motor je smješten izvan fermentatora. Mjesta gdje osovina prelazi strop fermentatora, krov od membrane ili zid fermentatora, moraju biti zategnuta i nepropusna.

Druga mogućnost mehaničkog miješanja je putem aksijalnih miješalica. One često rade kontinuirano, a obično su postavljene na držalu instaliranom u središtu stropa fermentatora. Motor je smješten van fermentatora te se njima osigurava stalan protok od dna prema gore.

[1] [8]



Slika 2.27. Miješalica s horizontalnom osovinom



Slika 2.28. Miješalica s dijagonalnom osovinom

### 2.5.7 Spremnik bioplina

Spremnici plina grade se da bi se kompenzirale varijacije u proizvodnji i potrošnji bioplina. Već je spomenuto da fermentatori s plino-nepropusnom membranom mogu vršiti ulogu spremnika plina, ali kod većih postrojenja grade se odvojeni spremnici bioplina kao zasebni objekti. Dobro dimenzioniranje spremnika plina značajno doprinosi učinkovitosti i sigurnosti bioplinskog postrojenja. Spremnici moraju biti plinonepropusni i opremljeni sigurnosnim ventilima te moraju jamčiti sigurnost u slučaju eksplozije ili požara. Sva bioplinska postrojenja moraju imati sigurnosnu baklju u slučaju nužde dok su kapaciteti spremnika najčešće jednaki proizvodnji bioplina za jedan ili dva dana. Postoje niskotlačni, srednjetačni i visokotlačni spremnici.

U niskotlačnim spremnicima vlada pretlak od 0.05 do 0.5 mbara, a sastoje se od membrana koje zadovoljavaju sigurnosnim uvjetima. Ako je fermentator ujedno i spremnik onda se



koristi dvostruka membrana. Jedna membrana je plinonepropusna dok druga štiti od nepovoljnih vanjskih uvjeta. Membrana se širi prema volumenu plina u spremniku, a na vanjskom djelu je obložena mrežom za sprečavanje nekontroliranog širenja.

Srednjetačni i visokotlačni spremnici se rjeđe upotrebljavaju kod manjih bioplinskih postrojenja zbog visokih troškova. U njima se skladišti bioplin na tlaku od 5 do 250 bara.



Slika 2.29. Spremnik plina



Slika 2.30. Mreža za ograničavanje širenja membrane

Kad se dogodi da je proizvodnja plina veća od potražnje, za proizvodnju energije potrebno je osigurati dodatan spremnik bioplina ili dodatnu jedinicu za proizvodnju energije. Ovakva rješenja imaju visoke troškove pa je jeftinije rješenje s ugradnjom baklji u slučaju nužde. Izgaranje na baklji je konačno rješenje u situacijama kada se višak bioplina ne može uskladištiti ili iskoristiti radi uklanjanja bilo kakvog rizika po sigurnost i zaštitu okoliša. Postoje dva osnovna tipa baklji za bioplin: otvorene i zaklonjene baklje. Baklje je potrebno konstruirati tako da se osigura potpuno izgaranje metana odnosno da se ispuštanje u atmosferu neizgorenog metana ili nepotpuno izgorenog ugljikovog monoksida svede na najmanju mjeru. Osnovna radna karakteristika je temperatura izgaranja (od 850 do 1200 °C).

Otvorene baklje su u osnovi plamenici s malim štitnikom plamena od vjetra, a plin se kontrolira ručnim ventilom.

Zaklonjene baklje su obično postrojenja na razini tla s jednom ili nizom baklji u cilindričnom zaklonu koji je obložen vatrostalnim materijalom. S njima se postiže da je izgaranje više ujednačeno, dok su emisije niske. [1]



Slika 2.31. Baklja za bioplin

### 2.5.8 Dorada bioplina za upotrebu

Bioplin proizveden u fermentatoru se odvodi na doradu odnosno čišćenje jer osim metana  $\text{CH}_4$  i ugljikovog dioksida  $\text{CO}_2$  sadrži i sumporovodik  $\text{H}_2\text{S}$  koji sa vodenom parom stvara sumpornu kiselinu. Zbog korozivnog djelovanja kiseline na cjevovode, motor i ostale komponente potrebno je vršiti desumporizaciju i sušenje bioplina.

Proizvođači kogeneracijskih jedinica izdaju potrebne uvjete za izgaranje bioplina.

Tablica 2.2. Potrebni uvjeti za izgaranje bioplina s relativnim udjelom kisika od 5%

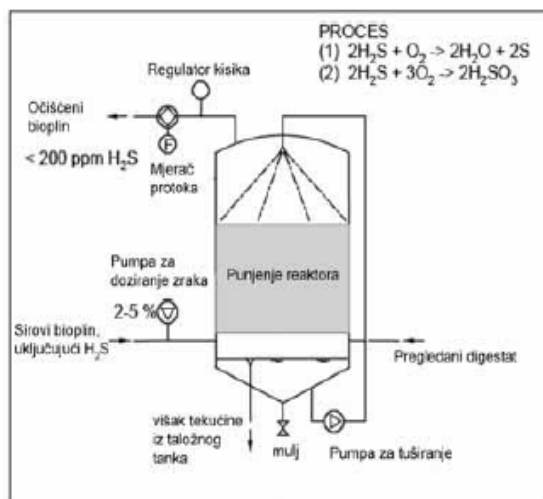
Donja ogrjevna vrijednost	$\text{H}_d$	$>4 \text{ kWh/m}^3$
Sadržaj sumpora	S	$<2.2 \text{ mg/m}^3 \text{ CH}_4$
ili sadržaj sumporne kiseline	$\text{H}_2\text{S}$	$<0.15 \text{ Vol } \%$
Sadržaj klora	Cl	$<100 \text{ mg/m}^3 \text{ CH}_4$
Sadržaj fluora	F	$<50 \text{ mg/m}^3 \text{ CH}_4$
Prašina ( $3 \dots 10 \mu\text{m}$ )		$<10 \text{ mg/m}^3 \text{ CH}_4$
Relativna vlažnost (pri najnižoj ulaznoj temperaturi zraka)	$\varphi$	$<90 \%$
Temperatura plina	$\theta$	$10 \dots 50 \text{ }^\circ\text{C}$
Ugljikovodici		$<0.4 \text{ mg/m}^3 \text{ CH}_4$
Silicij	Si	$<10 \text{ mg/m}^3 \text{ CH}_4$

Budući da je udio sumporovodika u bioplinu od 1000 do 3000 ppm, a za većinu kogeneracijskih jedinica je dopušteni udio od 700 ppm, da bi se izbjegla korozija koja bi se pojavila u kratkom vremenskom roku potrebno je vršiti desumporizaciju. Proces odvajanja sumporovodika se može odvijati biološki ili kemijski izvan ili unutar fermentatora.

Za odstranjivanje  $\text{H}_2\text{S}$  iz bioplina najčešće se upotrebljava biološka oksidacija temeljena na ubrizgavanju zraka u sirovi bioplin. Takvim procesom sumporovodik oksidira ili u čisti sumpor ili u sumpornu kiselinu.

Kod biološkog postupka odstranjivanja sumporovodika u fermentatoru zrak se ubacuje u gornjem dijelu fermentatora iznad plutajućeg sloja i na zidovima. Cijevi za ubrizgavanje zraka nalaze se na drugoj strani od cijevi za izlaz bioplina.

Ako se odvija izvan fermentatora onda za to postoje posebne posude ili desumporizacijske kolone u kojima se kontrolira proces i doziranje zraka. Proizvedeni talog sumpora se skuplja i miješa s digestatom jer poboljšava gojidbena svojstva digestata.

Slika 2.32. Sustav za biološku oksidaciju H<sub>2</sub>S

Slika 2.33. Spremnik za odvajanje sumporovodika

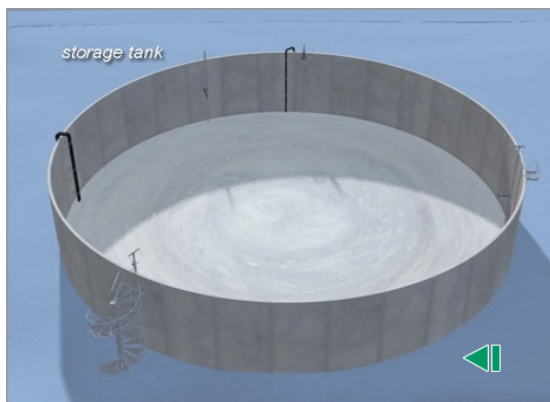
Kemijska desumporizacija unutar fermentatora radi na principu dodavanja kemijski tvari u sirovinu unutar fermentatora čime se sprječava oslobađanje sumporovodika u bioplin. Sumpor ostaje u digestatu.

Za kemijsku desumporizaciju izvan fermentatora potrebna je posebna oprema jer se radi sa lužinama i željeznim otopinama. Spojevi željeza vežu sumpor i sprječavaju nastanak sumporovodika. [1]

### 2.5.9 Skladištenje digestata

Fermentirani supstrat (digestat) se pumpanjem iz fermentatora transportira u spremnike za digestat. Kapaciteti spremnika za skladištenje digestata moraju biti dovoljni za prihvata proizvodnje digestata od 6 do 9 mjeseci. Tako se optimizira korištenje digestata u poljoprivredi kao gnojiva izbjegavajući njegovo korištenje zimi. Može se uskladištiti u betonska spremišta koja su pokrivena prirodnim ili umjetnim plutajućim slojevima ili

membranama ili u lagune. Za vrijeme skladištenja digestata moguća je daljnja proizvodnja metana pa bi spremnici trebali biti prekriveni plino-nepropusnim membranama radi skupljanja bioplina. Nepokriveni skladišni kapaciteti uvijek bi trebali imati barem plutajući sloj koji pokriva površinu digestata kako bi se stvorila prepreka za emisije amonijaka i metana. [1]



Slika 2.34. Spremnik za skladištenje digestata



Slika 2.35. Spremnik za skladištenje digestata



Slika 2.36. Spremnik digestata prekriven membranom



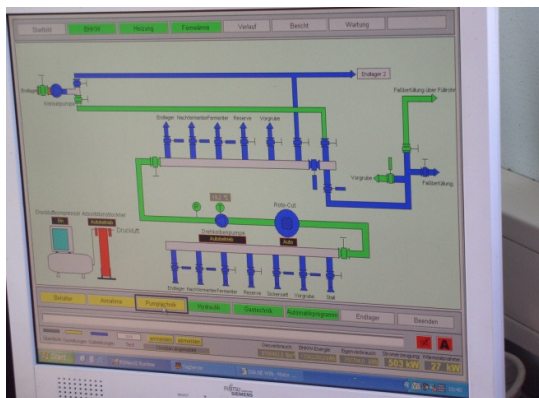
Slika 2.37. Spremišta digestata prekrivena membranom

### 2.5.10 Vođenje, nadzor i regulacija

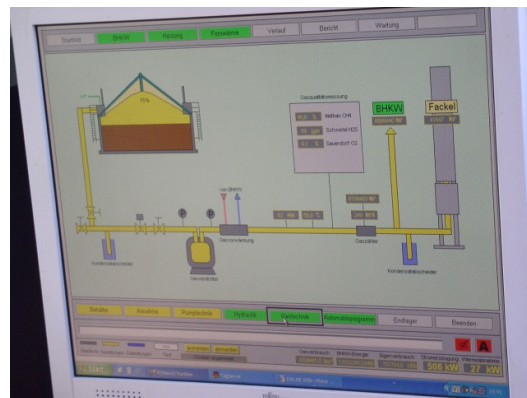
Za pouzdan rad bioplinskog postrojenja potreban je računalni sustav za nadzor i vođenje cijelog sustava. Kako su neophodni stabilni procesi svako odstupanje od standardnih vrijednosti potrebno je zabilježiti. Proces promatranja uključuje prikupljanje i analizu kemijskih i fizičkih parametara (vrsta i količina unesene sirovine, temperatura fermentacije, pH vrijednost, količina plina i sastav, razina punjenja).



Automatiziranje i računalna oprema služe za regulaciju i nadzor procesa. Regulacija se vrši na sljedećim komponentama: punjenje sirovinom, sanitacija, grijanje fermentatora i učestalost, uklanjanje sedimenta, transport sirovine kroz postrojenje, odvajanje krutog od tekućeg dijela, desumporizacija i izlaz električne energije i topline.



Slika 2.38. Sustav kontrole preko računala



Slika 2.39. Promatranja postrojenja na monitoru

Kod unosa tekuće sirovine pumpama može se mjeriti protok unesene količine u fermentator. Mjerači protoka mogu biti induktivni, kapacitetni, ali i oni koji upotrebljavaju tehnologiju ultrazvuka.

Razina punjenja fermentatora se također može mjeriti ultrazvučnom metodom, ali i tehnikama koje mjere hidrostatski tlak na dnu fermentatora ili udaljenost do površine tekućine.

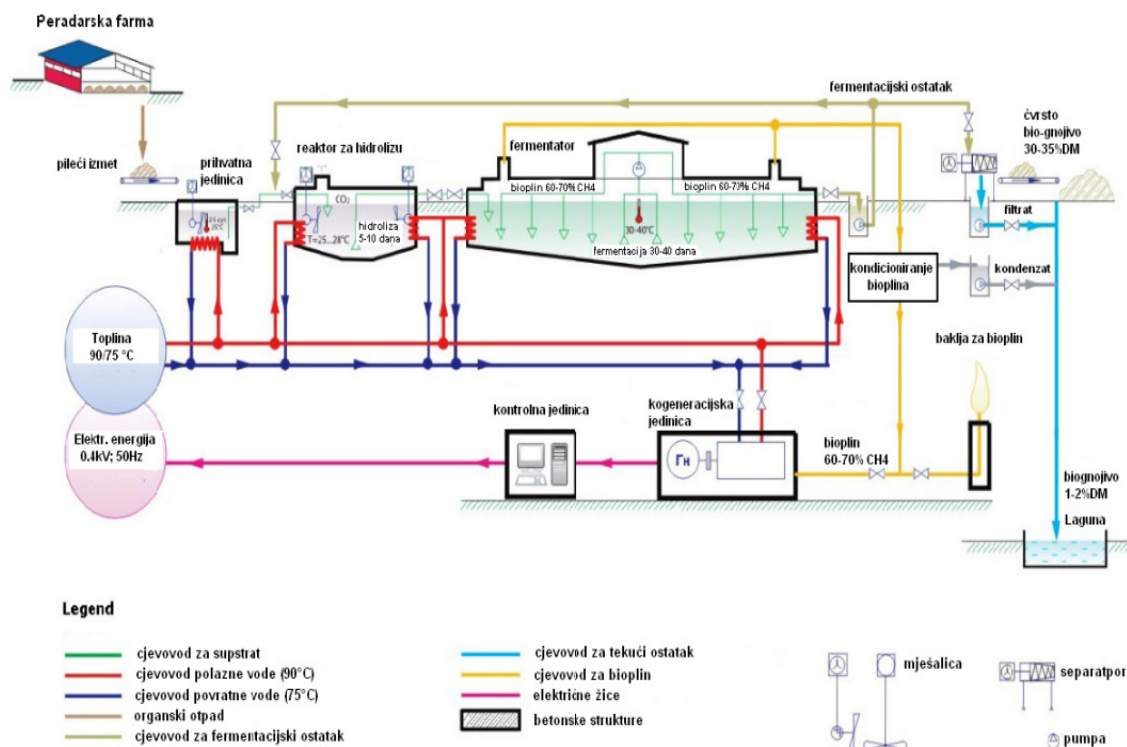
Mjerenje razine punjenja spremnika za plin obavlja se putem senzora za tlak.

Mjerenje procesne temperature u fermentatoru obavlja se na nekoliko mjesta zbog toga što temperatura mora biti stabilna.

Mjerenje količine bioplina je vrlo važno za određivanje učinkovitosti procesa. Plinomjeri se obično postavljaju direktno na plinske cijevi, a izmjerene količine bioplina trebale bi se arhivirati.

Kroz analize bioplina i upotrebu prikladnih naprava za mjerenje određuje se sastav bioplina koji je važan za proces koji slijedi, a to je dorada ili čišćenje. Za određivanje sastava bioplina koriste se senzori temeljeni na prijenosu topline, apsorpciji infracrvenog zračenja, kemijskoj sorpciji ili elektrokemijskom mjerenju. Infracrveni senzori su prikladni za određivanje koncentracije metana i ugljikovog dioksida. Elektrokemijski senzori se koriste za određivanje sadržaja vodika, kisika i sumporovodika.

Važnu informaciju o procesu anaerobne digestije dobivamo i iz pH vrijednosti sadržaja u fermentatoru. Vrijednost pH se mjeri ručno pomoću normalnih pH mjerača. [1] [8]



Slika 2.40. Shema bioplinskog kogeneracijskog postrojenja na peradarskoj farmi sa svim komponentama

### **3 PERADARSKA FARMA**

#### **3.1 Kapacitet farme**

Peradarska farma se sastoji od 10 peradarnika, a svaki peradarnik je tlocrtnih dimenzija 100 m x 14 m. Radi se o prizemnom objektu koji se sastoji od tovilišta za piliće. Ako se kao polazišne veličine uzmu dozvoljena masa peradi po jedinici površine od 33 kg žive mase po m<sup>2</sup> površine što je usklađeno s najboljom praksom u zemljama Europske unije (Direktiva 2007/43/EC o minimalnim pravilima za zaštitu pilića koji se drže u svrhu proizvodnje mesa), te ciljana težina pilića od 2,2 kg, proizlazi da je po 1 m<sup>2</sup> površine moguće držati 15 jedinki. Iz navedenog proizlazi da je ukupni kapacitet farme u 10 peradarnika oko 200.000 jedinki po turnusu. Dakle, maksimalni godišnji kapacitet farme u svih deset peradarnika iznosi 1.200.000 jedinki, a realni godišnji kapacitet farme u svih deset peradarnika je oko 1.000.000 jedinki, zbog mortaliteta. Kapacitet jednog peradarnika je 20.000 jedinki i na toj osnovi se radi i proračun potrebne topline i svi daljnji proračuni.

#### **3.2 Energetske potrebe**

Metodologija određivanja energetske potrebe je ekstrapolacija izmjerenih podataka za 2008. godinu na peradarskoj farmi Rosulje. [17]

##### **3.2.1 Električna energija**

Potrošnja električne energije na peradarskoj farmi se može podijeliti na:

1. Rasvjetu
2. Transport hrane
3. Transport vode
4. Grijanje
5. Ventilaciju

### 3.2.1.1 Rasvjeta

Za unutrašnju i vanjsku rasvjetu predviđeno je da se koriste fluorescentne cijevi FC18DS. Svjetlosni tok fluorescentnih cijevi je 880 lm. Za osvjetljenje unutrašnjosti peradarnika potrebno je ugraditi 100 fluorescentnih cijevi snage 30W dok je za vanjsku rasvjetu peradarnika potrebno ugraditi 4 fluorescentne cijevi snage 125 W. Predviđa se da je unutrašnja rasvjeta peradarnika uključena 24 sata dnevno. Proračun potrošnje električne energije za rasvjetu slijedi u tablici 3.1.

Tablica 3.1. Potrošnja električne energije na rasvjetu u sezoni

potrošač	snaga [kW]	broj jedinica	ukupna snaga [kW]	Broj radnih sati na dan [h]	dnevna potrošnja [kWh]	broj radnih dana u sezoni	potrošnja u sezoni [kWh]
žarulja 40W	0,04	1.000	40	24	960	310	297.600
žarulja 125W	0,125	40	5	7	35	310	10.850
<b>Ukupno:</b>							308.450

### 3.2.1.2 Transport hrane

Liniju za transport hrane u svakom od deset peradarnika mora se sastojati od sustava za transport hrane, od silosa do peradarnika te sustava transporta hrane prema hranilicama. Za pogon sustava transporta hrane od silosa do peradarnika koristi se po jedan elektromotor snage 0,75 kW, dok se za pogon sustava transporta hrane prema hranilicama koriste po tri elektromotora snage 0,37 kW. Predviđa se maksimalno vrijeme trajanja hranidbe 5 sati na dan. Proračun potrošnje električne energije za transport hrane prikazan je u tablici 3.2.

Tablica 3.2. Potrošnja električne energije na transport hrane u sezoni

potrošač	snaga [kW]	broj jedinica	ukupna snaga [kW]	Broj radnih sati na dan [h]	dnevna potrošnja [kWh]	broj radnih dana u sezoni	potrošnja u sezoni [kWh]
elektromotor za transport hrane iz silosa	0,75	80	60	5	300	310	93.000
elektromotor za transport hrane prema hranilicama	0,37	40	14,8	5	74	310	22.940
<b>Ukupno:</b>							115.940

### 3.2.1.3 Transport vode

Vodu iz gradskog vodovoda potrebno je akumulirati u prekidnoj komori iz koje se pumpom transportira u spremnik vode te dalje pumpom u posudu pod tlakom (8 bar). Pumpe su peterostepene centrifugalne pogonjene elektromotorom snage 5,5 kW. Broj radnih sati pumpe procijenjen je 6 h na dan, a dobava pumpe je 6 m<sup>3</sup>/h.

Tablica 3.3. Potrošnja električne energije na transport vode u sezoni

potrošač	snaga [kW]	broj jedinica	ukupna snaga [kW]	Broj radnih sati na dan [h]	dnevna potrošnja [kWh]	broj radnih dana u sezoni	potrošnja u sezoni [kWh]
elektromotor za pogon pumpe	5,5	3	16.5	6	99	310	30.690
Ukupno:							30.690

### 3.2.1.4 Grijanje

Predviđeno grijanje peradarnika je infra grijalicama na plin i kaloriferima na toplu vodu iz kogeneracijskog postrojenja. Za strujanje toplog zraka iz kalorifera zaduženi su ventilatori. U svaki peradarnik ugrade se dva kalorifera u kojima su ventilatori snage 0,45 kW. Procijenjeno je da ventilatori odnosno kaloriferi rade bez prekida tj. 24 sata dnevno u svakom turnusu.

Tablica 3.1. Potrošnja električne energije na grijanje u sezoni

potrošač	snaga [kW]	broj jedinica	ukupna snaga [kW]	Broj radnih sati na dan [h]	dnevna potrošnja [kWh]	broj radnih dana u sezoni	potrošnja u sezoni [kWh]
ventilator u kaloriferu	0,45	20	9	24	216	310	66.960
Ukupno:							66.960

### 3.2.1.5 Ventilacija

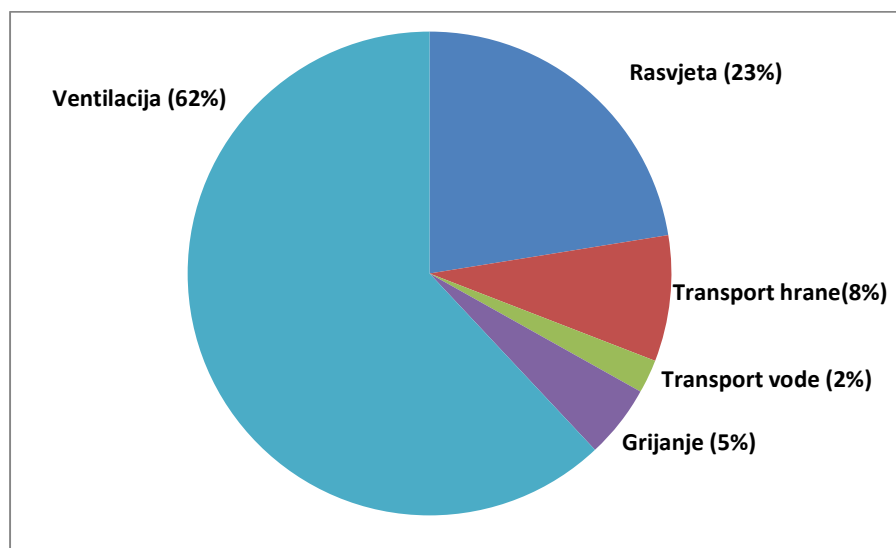
Za svih 10 peradarnika predviđeno je ventiliranje sa stropnim i zidnim ventilatorima. Stropni ventilatori su jednako raspoređeni duž stropa peradarnika. Stropni ventilatori su pogonjeni jednofaznim elektromotorima snage 0,6 kW s mogućnošću regulacije broja okretaja ventilatora. Četiri zidna ventilatora potrebno je postaviti na krajnjem zidu peradarnika tako da

izazivaju strujanje zraka uzduž peradarnika. Zidni ventilatori su pogonjeni trofaznim elektromotorima snage 1,6 kW.

U zimskim mjesecima zbog gubitaka topline potrebno je minimizirati broj izmjena zraka odnosno ulaza svježeg zraka pa je u pogonu samo stropna ventilacija.

Budući da je zidna i stropna ventilacija automatizirana teško je direktno procijeniti potrošnju električne energije za pogon ventilatora. Potrošena električna energija na ventiliranje peradarnika dobivena je mjerenjem u sezoni na peradarskoj farmi Rosulje pa se proporcionalno tome zaključuje da je ona oko 62% ukupne potrošene električne energije. Prema tome, ukupna potrošena električna energija na ventilaciju u sezoni iznosi 851.749 kWh.

Ukupna godišnja potrošnja električne energije na peradarskoj farmi bila bi 1.373.789 kWh. Na osnovi provedenog proračuna dobije se potrošnja električne energije po izdvojenim područjima primjene. Najviše električne energije bi se trošilo na ventilaciju i rasvjetu dok bi na ostalim područjima bila puno manja potrošnja.



Slika 3.1. Potrošnja električne energije po područjima primjene

### 3.2.2 Toplina

Potrebna toplina za grijanje peradarnika se dobiva pomoću dva sustava grijanja. Jedan sustav je infra grijalicama koje koriste propan za grijanje, a drugi je toplovodnim sustavom iz kogeneracije odnosno kaloriferima. Prema proračunu toplinskog opterećenja, topline iz

kogeneracije ne možemo zadovoljiti toplinske potrebe farme, ali zato znatno možemo uštedjeti na potrošnji plina za grijanje infra grijalicama.

Plin propan se skladišti u nadzemnim spremnicima volumena  $V = 4.850 \text{ l}$  odnosno  $2.100 \text{ kg}$ . Svaki peradarnik ima svoj spremnik. Propan se koristi isključivo za grijanje peradarnika.



Slika 3.2. Spremnik propana

Potreba topline po turnusima prikazana je u tablici 3.6.

Tablica 3.2. Potreba topline po turnusima

Turnus	Trajanje turnusa	Dana	Broj jedinki [n]	Potrebno topline po jedinki, [W]	Potrebno topline, [kWh]
1	21.11.02.-17.01.03.	56	200.000	2,77	554.987
2	24.01.03.-21.03.03.	56	200.000	2,86	572.009
3	27.03.03.-22.05.03.	56	200.000	1,97	394.226
4	29.05.03.-23.07.03.	55	200.000	0,95	190.461
5	31.07.03.-26.09.03.	57	200.000	0,98	195.686
6	20.10.03.-16.12.03.	57	200.000	2,06	411.531
				<b>Ukupno:</b>	2.318.900

Potrošnja propana bi bila sljedeća kad bi se peradarnici grijali samo infra grijalicama na plin.

Tablica 3.3. Potrošnja propana za grijanje samo s infra grijalicama

Turnus	Trajanje turnusa	Dana	Potrebno topline, [kWh]	Potrošnja propana [kg]
1	21.11.02.-17.01.03.	56	554.987	43.358
2	24.01.03.-21.03.03.	56	572.009	44.688
3	27.03.03.-22.05.03.	56	394.226	30.799
4	29.05.03.-23.07.03.	55	190.461	14.880
5	31.07.03.-26.09.03.	57	195.686	15.288
6	20.10.03.-16.12.03.	57	411.531	32.151
			<b>Ukupno:</b>	181.164

### 3.3 Potrošnja vode

Ukupna potrošnja vode u sezoni odnosi se na napajanje životinja i čišćenje peradarnika. Potrošnja vode za napajanje varira ovisno o temperaturi okoliša, kvaliteti hrane i zdravstvenom stanju životinja. Temperatura vode za napajanje bi se trebala kretati između 10 i 15 °C. Prosječna dnevna potrošnja vode za jednu jedinku je oko 0,15 l što znači da je za 200.000 jedinki dnevna potrošnja jednaka oko 30,000 l tj. 30 m<sup>3</sup> pa se prema tome godišnja potrošnja vode za napajanje kreće oko 10.000 m<sup>3</sup>. Možemo na kraju reći da je ukupna godišnja potrošnja vode na farmi 12,000 m<sup>3</sup>.

### 3.4 Potencijal proizvodnje bioplina

Za proizvodnju bioplina se koristi pileći izmet iz farme kao osnovni supstrat. Kako je proces proizvodnje bioplina iz pilećeg izmeta nestabilan potrebno je dodati druge supstrate za stabilnost procesa. Najčešći supstrati koji se dodaju pilećem izmetu su kukuruzne ili travnate silaže. Udio suhe tvari u mješavini kreće se između 10 % i 30%.

Tijekom perioda od jedne godine, pilići ukupne težine 500 kg proizvedu oko 18.250 kg svježeg izmeta koji sadrži oko  $m_{OT,500kg} = 3.000$  kg krute organske tvari. Pretpostavi se da je kapacitet farme  $n_p = 1.000.000$  pilića godišnje i da je prosječna težina pilića u turnusu  $m_p = 1$  kg pa se može izračunati godišnja proizvodnja krute organske tvari: [17]

$$m_{OT} = \frac{n_p \cdot m_p \cdot m_{OT,500kg}}{500 [kg]} = 6.000 [t]$$

Za kontinuiranu proizvodnju bioplina tijekom cijele godine i stabilizaciju procesa potrebno je osigurati 10 do 30% suhe tvari u mješavini. Ako se godišnje proizvede 6.000 t krute organske tvari iz pilećeg izmeta u fermentator se još stavi oko  $m_{sil} = 2.500$  t suhe kukuruzne ili travnate silaže i  $m_v = 1.000$  m<sup>3</sup> otpadne vode od čišćenja peradarnika.

Što znači da nakon miješanja imamo ukupnu masu supstrata:

$$m_{S,uk} = m_{OT} + m_{sil} + m_v = 6.000 + 2.500 + 1.000 = 9.500 [t]$$

Anaerobnom fermentacijom pilećeg izmeta sa udjelom suhe tvari od 10 do 30 % na temperaturi oko 30 °C i u trajanju oko 30 dana se od jedne tone supstrata može dobiti 130 m<sup>3</sup> bioplina. Možemo očekivati godišnju proizvodnju bioplina oko:

$$V_{bp,god} = m_{S,uk} \cdot 130 [m^3] = 1.235.000 [m^3]$$



gdje je:

$$V_{bp,god} - \text{godišnji dobiveni volumen bioplina, [m}^3\text{]}$$

Iz toga izlazi da je dnevni proizvedeni volumen bioplina  $V_{bp,d}$ :

$$V_{bp,d} = \frac{V_{bp,god}}{365} = 3.384 \text{ [m}^3\text{]}$$

Sastav bioplina iz pilećeg izmeta sa 20 % suhe tvari je 60 % metana ( $\text{CH}_4$ ) i 40% ugljičnog dioksida ( $\text{CO}_2$ ). Donja ogrjevna vrijednost takvog sastava bioplina je  $H_{d,bp} = 22100 \text{ [kJ/m}^3\text{]}$  što je jednako  $H_{d,bp} = 6.1 \text{ [kWh/m}^3\text{]}$ .

Prema tome slijedi da je godišnja ukupna energetska vrijednost proizvedenog bioplina  $Q_{bp,god}$  jednaka:

$$Q_{bp,god} = V_{bp,god} \cdot H_{bp} = 7.533.500 \text{ [kWh]}$$

dok je ona na dnevnoj razini jednaka:

$$Q_{bp,d} = \frac{Q_{bp,god}}{365} = 20.642 \text{ [kWh]}$$

### 3.5 Dimenzioniranje glavnih komponenata bioplinskog postrojenja

Prema uputama proizvođača opreme Zorg iz Ukrajine procijenjene su sljedeće dimenzije komponenata bioplinskog postrojenja. [8]

#### 3.5.1 Fermentator

Postupak fermentacije odvija se u fermentatoru veličine  $2.500 \text{ m}^3$ . Fermentator je betonski i prekriven plino-nepropusnom membranom i ujedno služi kao spremnik bioplina.

#### 3.5.2 Spremnik digestata

Spremnik digestata je zatvoren betonski spremnik prekriven plino-nepropusnom membranom veličine  $4.800 \text{ m}^3$  te također može služiti kao spremnik bioplina zbog njegovog oslobađanja nakon fermentacije. Dimenzioniran je za skladištenje digestata u trajanju od 180 dana.

#### 3.5.3 Prihvatna jedinica

Volumen prihvatne jedinice je  $250 \text{ m}^3$  koja ujedno može služiti i kao reaktor za hidrolizu.

## **4 TOPLINSKE POTREBE**

Predmet obrade i proračuna objekta u odnosu na toplinsku zaštitu i uštedu energije je peradarnik za piliće tlocrtnih dimenzija 100 m x 14 m. Kapacitet jednog od deset peradarnika je 20.000 jedinki po turnusu i na toj osnovi se radi i proračun potrebne topline i svi daljnji proračuni.

Budući da peradarnici nemaju ostakljene površine, što je vrlo bitan podatak pri proračunu toplinskih dobitaka kroz prozirne dijelove, dobici kroz neprozirne elemente (zidovi, vrata, krovovi) se ne uzimaju u obzir.

Zbog ventilatora vrlo velikih kapaciteta, na krajnjem poprečnom zidu (4 komada) i na krovu (5 komada), javljaju se dodatni gubici topline zbog ventilacije. Ventilatori imaju ulogu odsisa zraka dok su za ulaz zraka u peradarnike zaduženi tipski ventilacijski elementi koji imaju ugrađenu klapnu za reguliranje količine protoka zraka, a raspoređeni su ravnomjerno na dva uzdužna zida. Ventilacija je vrlo bitna za ljetni period kada se javljaju temperature koje su znatno veće od temperatura u peradarnicima i postoji realna opasnost od gušenja pilića. U zimskom periodu se uključuju vrlo rijetko radi dopreme svježeg zraka. Realno je očekivati da će se uključivati stropni ventilatori maksimalno par minuta u sat vremena. Drugim riječima, to dnevno iznosi maksimalno sat vremena, odnosno 4% vremena dnevno. To je bitan podatak radi proračuna gubitaka topline koji mogu biti vrlo veliki u slučaju rada svih ventilatora.

Velik dio topline nadomješta se metaboličkim dobicima od pilića.

Sve obodne konstrukcije su dimenzionirane da zadovolje odredbe važećih normi vezano za zahtjeve najviše dozvoljenih vrijednosti koeficijenata prolaska topline.

Vanjski zid projektiran je od termo blokova debljine 30 cm.

Krovnu konstrukciju čine metalni nosači, a pokrov čine gotovi paneli s jezgrom od poliuretana debljine 12 cm. Pretpostavka je da su limovi potpuno nepropusni za prolazak vodene pare s unutarnje, odnosno oborinskih voda s vanjske strane. Posebna je pozornost na spojevima između panela, kako ne bi došlo do prodora vode i vlage u jezgru panela, natapanja kamene vune čime dolazi do znatnog smanjenja toplinskih karakteristika materijala.

Pod peradarnika je zamišljen kao armirano-betonska ploča, a ispod nje se nalazi toplinska izolacija debljine 12 cm.

## 4.1 Toplinsko opterećenje peradarnika

Osnovni cilj proračuna je određivanje projektnih toplinskih gubitaka koji se potom koriste za određivanje projektnog toplinskog opterećenja prostorije odnosno objekta. Kako svrha ovog rada nije precizno i potpuno određivanje potrebne topline objekta proračunom već vrijednost potrebne topline zgrade služi kao orijentacijski kriterij, proveden je pojednostavljeni postupak proračuna projektnih toplinskih gubitaka odnosno toplinskog opterećenja objekta. [2]

Za proračun projektnih toplinskih gubitaka grijane prostorije razmatraju se:

- projektni transmisijski toplinski gubici kao posljedica provođenja topline kroz plohe prema vanjskoj okolini i tlu te prema okolnim prostorima s različitim temperaturama
- ventilacijski toplinski gubici kao posljedica strujanja zraka kroz ovojnicu zgrade i između pojedinih njezinih dijelova, odnosno prostorija

Ukupni projektni toplinski gubici grijanog prostora određuju se jednadžbom:

$$\Phi_{uk} = (\Phi_T + \Phi_V)$$

pri čemu je:

- $\Phi_{uk}$  - ukupni toplinski gubici grijanog prostora, [W]
- $\Phi_T$  - transmisijski toplinski gubici grijanog prostora, [W]
- $\Phi_V$  - ventilacijski toplinski gubici grijanog prostora, [W]

Projektni transmisijski toplinski gubici grijanog prostora određuju se jednadžbom:

$$\Phi_T = \sum_i f_k \cdot A_i \cdot U_i \cdot (\theta_{int} - \theta_e)$$

pri čemu je:

- $f_k$  - temperaturni korekcijski faktor pojedinog građevinskog elementa koji uzima u obzir razliku temperature u zadanom slučaju i vanjske projektne temperature
- $f_k = 1$  (za izolirane toplinske mostove izravno prema okolini)
- $A$  - površina pojedinog građevinskog elementa, [m<sup>2</sup>]

- $U$  - koeficijent prolaza topline pojedinog građevinskog elementa, [W/m<sup>2</sup>K]
- $\theta_{int}$  - projektna temperatura zraka u grijanoj prostoriji, [°C]
- $\theta_e$  - vanjska projektna temperatura, [°C]

Projektni ventilacijski toplinski gubici grijanog prostora određuju se jednadžbom:

$$\Phi_V = \rho_{zr} \cdot c_{p,zr} \cdot V_{zr,min} \cdot (\theta_{int} - \theta_e)$$

pri čemu je:

- $\rho_{zr}$  - gustoća zraka (pri projektnoj temperaturi zraka u prostoru) [kg/m<sup>3</sup>]
- $c_{p,zr}$  - specifični toplinski kapacitet zraka pri konstantnom tlaku [J/kgK]
- $V_{zr,min}$  - najmanji potrební protok zraka zbog higijenskih razloga [m<sup>3</sup>/h]
- $\theta_{int}$  - projektna temperatura zraka u grijanoj prostoriji, [°C]
- $\theta_e$  - vanjska projektna temperatura, [°C]

#### 4.1.1 Proračun transmisijskih toplinskih gubitaka

Spomenuto je da su transmisijски toplinski gubici posljedica provođenja topline kroz plohe prema okolini pa je potrebno utvrditi površinu tih ploha i koeficijent prolaza topline. Kod prijema malih pilića mora se osigurati temperatura u peradarniku od 33 °C, a kasnije se ona smanjuje. Temperatura u peradarniku ima velik utjecaj na rast pilića i njihov razvoj. Pilići stari 5 tjedna se mogu držati na temperaturi od 24 °C. Kod proračuna transmisijски toplinskih gubitaka uzeti je slučaj s najvišom temperaturom od 33 °C odnosno s najvećom temperaturnom razlikom između unutarnje temperature i vanjske projektne temperature.

Dimenzije jednog peradarnika su:

- dužina:  $l = 100$  m
- širina:  $d = 14$  m
- visina:  $h = 2.5$  m
- kosi krov je pod nagibom 12° pa je sljeme peradarnika na 4.2 m

Iz tih podataka možemo izračunati željene površine vanjskih zidova, krova i poda.

$$\text{Površina vanjskih zidova: } A_z = 605 \text{ m}^2$$

$$\text{Površina krova: } A_k = 1500 \text{ m}^2$$

$$\text{Površina poda: } A_p = 1430 \text{ m}^2$$

Koeficijent prolaza topline  $U$  [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ] pojedinog građevinskog elementa računa se prema sljedećoj formuli:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_{k=1}^n \left(\frac{s}{\lambda}\right)_k + \frac{1}{\alpha_{ok}}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_{k=1}^n R_{\lambda,k} + \frac{1}{\alpha_a}} = \frac{1}{R}$$

pri čemu je:

$\alpha_i$  - koeficijent prijelaza topline na unutarnjoj strani stjenke, [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]

$\alpha_a$  - koeficijent prijelaza topline na vanjskoj strani stjenke, [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]

$s$  - debljina stjenke, [m]

$\lambda$  - koeficijent provođenja topline, [ $\text{W}/\text{mK}$ ]

$R_\lambda$  - otpor provođenja topline, [ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ]

$R$  - otpor prolaza topline, [ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ]

#### 4.1.1.1 Vanjski zidovi

Tablica 4.1. Slojevi građevnog materijala vanjskih zidova

Sloj	Naziv materijala	$s$ [m]	$\lambda$ [ $\text{W}/\text{mK}$ ]	$R_\lambda$ [ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ]
1	Vapneno-gipsana žbuka	0,008	0,8	0,01
2	YTONG Planblok PLB	0,3	0,13	2,31
3	Vapneno-cementna žbuka	0,015	1	0,015

Koeficijent prolaza topline vanjskih zidova:  $U = 0,4$  [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]

## 4.1.1.2 Pod

Tablica 4.2. Slojevi građevnog materijala podova

Sloj	Naziv materijala	s [m]	$\lambda$ [W/mK]	$R_\lambda$ [m <sup>2</sup> K/W]
1	Armirani beton	0,12	2,6	0,046
2	Polietilenska folija	0,002	0,5	0,01
3	Ploče od kamene vune	0,06	0,036	1,667
4	Višeslojna bitumenska hidroizolacija	0,01	0,19	0,053

Koeficijent prolaza topline poda:  $U = 0,5$  [W/m<sup>2</sup>K]

## 4.1.1.3 Kosi krov

Tablica 4.3. Slojevi građevnog materijala krovova

Sloj	Naziv materijala	s [m]	$\lambda$ [W/mK]	$R_\lambda$ [m <sup>2</sup> K/W]
1	Čelik	0,001	50	0,0002
2	Tvrda poliuretanska pjena	0,12	0,025	4,8
3	Čelik	0,001	50	0,0002

Koeficijent prolaza topline krova:  $U = 0,2$  [W/m<sup>2</sup>K]

Temperatura zraka u grijanoj prostoriji uzeta je kao najveća temperatura koja se pojavljuje u peradarnicima.

$$\theta_{int} = 33 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Vanjska projektna temperatura je:

$$\theta_e = -15 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Temperatura zemlje za transmisijske toplinske gubitke kroz pod uzeta je:

$$\theta_z = 0 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Transmisijski toplinski gubici kroz vanjske zidove:

$$\phi_{T,z} = A_z \cdot U \cdot (\theta_{int} - \theta_e) = 11,62 \text{ [kW]}$$

Transmisijski toplinski gubici kroz pod:

$$\Phi_{T,p} = A_p \cdot U \cdot (\theta_{int} - \theta_z) = 23,6 \quad [kW]$$

Transmisijski toplinski gubici kroz krov:

$$\Phi_{T,k} = A_k \cdot U \cdot (\theta_{int} - \theta_e) = 14,4 \quad [kW]$$

Ukupni transmisijski toplinski gubici jednog peradarnika:

$$\Phi_T = \Phi_{T,z} + \Phi_{T,p} + \Phi_{T,k} = 49,61 \quad [kW]$$

Ukupni transmisijski toplinski gubici u svih deset peradarnika:

$$\Phi_{T,uk} = \Phi_T \cdot 10 = 496,1 \quad [kW]$$

#### 4.1.2 Proračun ventilacijskih toplinskih gubitaka

Količina svježeg zraka koja je potrebna po 1 kg bruto mase se kreće od minimalno 0,4 m<sup>3</sup>/h do maksimalno 9 m<sup>3</sup>/h. Kako se s toplinski gubici povećavaju s povećanjem protoka zraka kroz grijanu prostoriju potrebno je odrediti najmanji potrebni protok zraka.

Ako je prosječna masa pilića:

$$m_p = 1 \quad [kg]$$

Broj pilića u jednom peradarniku:

$$n = 20.000$$

Minimalni protok zraka:

$$V_{zr,min} = m_p \cdot n \cdot 0,4 = 8.000 \quad [m^3/h]$$

Volumen peradarnika  $V = 4.550 \text{ m}^3$ , a minimalni protok zraka  $V_{zr,min} = 8.000 \text{ m}^3/h$  što znači da je broj izmjena zraka u peradarniku  $n_z = 1,75$ .

Gustoću zraka prema projektnoj temperaturi:

$$\rho_{zr} = 1,3 \quad [kg/m^3]$$

Specifični toplinski kapacitet zraka pri konstantnom tlaku prema projektnoj temperaturi:

$$c_{p,zr} = 1005 \text{ [J/kgK]}$$

Gubici topline u jednom peradarniku zbog ventilacije su:

$$\Phi_V = \rho_{zr} \cdot c_{p,zr} \cdot V_{zr,min} \cdot (\theta_{int} - \theta_e) = 128 \text{ [kW]}$$

Gubici topline u svih deset peradarnika zbog ventilacije su:

$$\Phi_{V,uk} = \Phi_V \cdot 10 = 1.280 \text{ [kW]}$$

#### 4.1.3 Toplinski dobici

Metabolički dobici od pilića mase 500g su oko 0,6 W/jedinki, pilića mase 2 kg kod temperature 20°C su 11 W/jedinki, a kod temperature 30 °C su 6,8 W/jedinki. Uzmemo li u obzir da prosječno vrijeme tova iznosi oko 41 dan, s time da u početku pilići ostvaruju veću dobit na masi nego pri kraju razdoblja, možemo aproksimativno uzeti da je prosječna masa pileta u mjesecu 1 kg. Prema tim podacima možemo zaključiti da pile od 1 kg pri temperaturi 33 °C (projektna temperatura) „proizvodi“ približno 4 W.

Pomnožimo li to s 20.000 komada pilića koliko ulazi u turnus po peradarniku dobijemo:

$$\Phi_{dob} = n \cdot 4 = 80 \text{ [kW]}$$

Toplinski dobici u svih deset peradarnika:

$$\Phi_{uk,dob} = \Phi_{dob} \cdot 10 = 800 \text{ [kW]}$$

#### 4.1.4 Ukupno toplinsko opterećenje

Ukupno toplinsko opterećenje je suma toplinskih gubitaka (transmisijom i ventilacijom) i metaboličkih toplinskih dobitaka od životinja.

Ukupno toplinsko opterećenje jednog peradarnika:

$$\Phi_{uk} = \Phi_T + \Phi_V - \Phi_{dob} = 97,6 \text{ [kW]}$$

Ukupno toplinsko opterećenje u svih deset peradarnika:

$$\Phi_{uk,10} = \Phi_{uk} \cdot 10 = 976 \text{ [kW]}$$



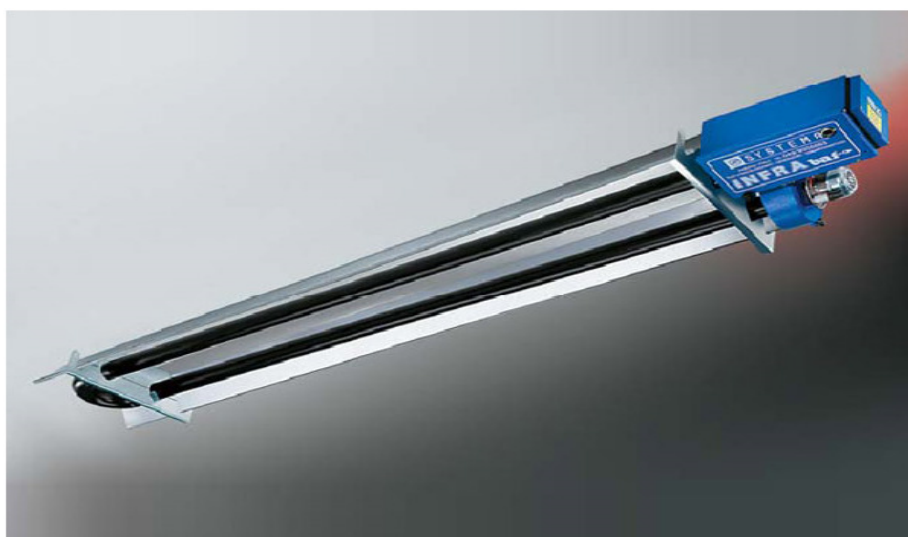
## 4.2 Grijanje i ventilacija peradarnika

### 4.2.1 Grijanje peradarnika

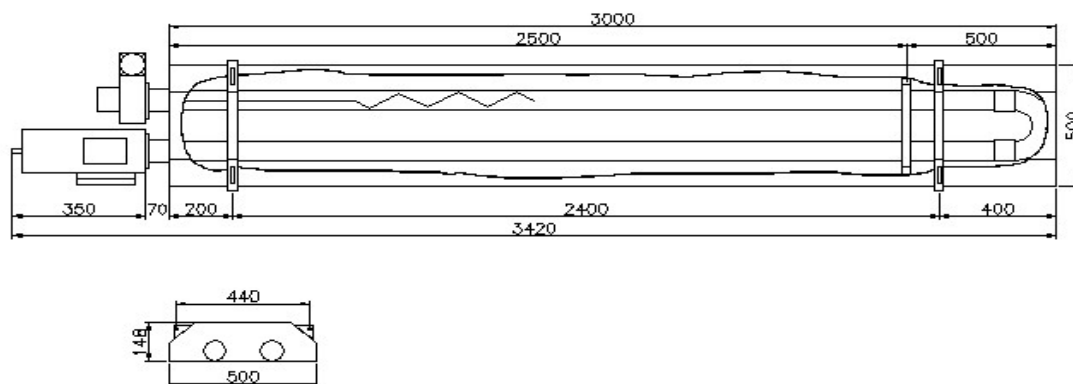
Uobičajeni način grijanja peradarnika je pomoću plinskih grijača zraka i pomoću infra grijalica. Za obje vrste ogrjevnih tijela upotrebljava se plin kao izvor topline te ih je potrebno pravilno dimenzionirati da bi se zadovoljile toplinske potrebe peradarnika.

U razmatranom slučaju pretpostavljene su infra grijalice kao osnovni način grijanja peradarske farme. Prijelaz topline se kod infra grijalica odvija zračenjem putem elektromagnetskih valova, koji su u infra crvenom području. Zračenje se odvija od izvora do predmeta koji apsorbira toplinu. Infra grijalice koje se upotrebljavaju u peradarnicima imaju infra tamno zračenje, gdje je izvor topline zagrijan do 600 °C. Snaga grijalice i visina instaliranja određuje se na temelju izračuna transmisijских gubitaka, s time da treba voditi računa o potpunoj pokrivenosti zračenja zadanog mjesta prema uputama proizvođača i zahtjevima projektanta.

Infra grijalice se ovješuju o čeličnu krovnu konstrukciju peradarnika pomoću čeličnih lanaca. Visina grijalica iznosi cca 2 m od poda peradarnika. Paljenje i gašenje infra grijalica je automatizirano pomoću temperaturnih osjetnika. Raspored infra grijalica je takav da pokriva cijeli prostor i da potrebna snaga pokriva toplinsko opterećenje. [13]



Slika 4.1. Plinska infra grijalica



Slika 4.2. Plinske infra grijalice

Izgradnjom bioplinskog kogeneracijskog postrojenja pruža se mogućnost iskorištavanja dijela topline iz kogeneracijske jedinice. Kogeneracijsko postrojenje je pokretano bioplinom proizvedenim iz pilećeg izmeta čiji je cilj proizvodnja električne energije, a kao nusprodukt nastaje toplina. Prosječno se oko 35% topline koristi za zagrijavanje fermentatora dok ostatak možemo odbaciti odnosno korisno iskoristiti za zagrijavanje peradarnika. Zimi je potreba za grijanjem fermentatora veća pa samo oko 30% proizvedene topline u kogeneraciji ostaje za grijanje peradarnika. Ljeti je situacija obrnuta i čak 90% topline je iskoristivo za grijanje peradarnika. Djelomičnim pokrivanjem toplinskog opterećenja peradarnika toplinom iz kogeneracije možemo smanjiti potrošnju goriva odnosno smanjiti troškove potrebne za grijanje.

Topla voda cirkulira iz kogeneracijske jedinice izoliranim cjevovodima do izmjenjivača topline u peradarniku, a za bolju distribuciju toplog zraka po peradarnicima su zaduženi ventilatori ugrađeni u izmjenjivače topline.

Takvi izmjenjivači topline nazivaju se kaloriferi te su karakteristični za grijanja u industrijskim halama ili drugim većim objektima.

Vrlina ovakvog sustava grijanja je da se distribucija topline može lako upravljati i kontrolirati, a nedostatak je što se zahtijevaju pumpe, ventili, cjevovodi, izmjenjivači topline čime se znatno povećava početna cijena sustava.

Toplinom iz kogeneracijske jedinice možemo osigurati toplu vodu režima 80/60 °C te po peradarniku instalirati izmjenjivače topline ukupne snage 35 kW. [10]



Slika 4.3. Izolacija cijevi za toplu vodu



Slika 4.4. Izmjenjivači topline sa ventilatorima



Slika 4.5. Izmjenjivači topline sa ventilatorima

Ako je raspored plinskih infra grijalica takav da svaka pokriva  $100 \text{ m}^2$  u peradarniku potrebna snaga i broj grijalica je [13]:

$$Q_{gr} = A_p \cdot 100 \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] = 100 \cdot 14 \cdot 120 = 168.000 \text{ [W]} = 168 \text{ [kW]}$$

Potrebnu snagu plinskih infra grijalica možemo rasteretiti ako od nje oduzmemo snagu 30 kW koju dobijemo iz kogeneracijskog postrojenja. Iz toga slijedi da je potrebna snaga plinskih infra grijalica:

$$Q_{uk,gr} = Q_{gr} - 50 \text{ [kW]} = 168 - 30 = 138 \text{ [kW]}$$

Broj infra grijalica koji je potrebno ugraditi jednak je omjeru potrebne snage infra grijalica i snage odabrane jedne grijalice.

$$N_{gr} = \frac{Q_{uk,gr}}{Q} = \frac{143}{12} = 12$$

Odabrane infra grijalice snage 12 kW namijenjene su uglavnom za grijanje peradarskih farmi. Mogu se priključiti pojedinačno preko odgovarajućeg regulatora na plinsku bocu ili na centralnu plinsku instalaciju. Grijalice imaju ugrađen termoelement, koji automatski sprječava ulazanje plina ukoliko nestane plamena. Nakon jednog radnog ciklusa (turnusa), potrebno je sve grijalice demontirati i otpremiti u pričuvnu radionicu. Kod transporta treba naročito paziti da se ne ošteti termoelement, koji je vrlo osjetljiv na udarce i pregibe. S obzirom na radne uvjete (prašina, nečistoća), grijalice je potrebno dobro očistiti i to mlazom vode, a potom zrakom propuhati, te osušiti. Kod ponovne montaže, potrebno je provjeriti da nije začepljena sapnica ili da nije termoelement suviše odmaknut od gorionika ili da nije popustio spoj termoelementa na plinskom ventilu.

Potrošnja propana grijalice od 12 kW:

$$q_{Vmax} = \frac{Q \cdot 3600}{H_d \cdot \eta}$$

pri čemu je:

$q_{Vmax}$  - potrošnja plina (propan), [m<sup>3</sup>/h]

$Q$  - snaga infra grijalice, [kW]

$H_d$  - donja ogrjevnost vrijednost propana, [kJ/m<sup>3</sup>]

$$H_d = 91.090 \text{ [kJ/m}^3\text{]}$$

$\eta$  - stupanj iskoristivosti

$$\eta = 0,85$$

$$q_{Vmax} = \frac{Q \cdot 3600}{H_d \cdot \eta} = 0,56 \text{ [m}^3\text{/h]}$$

Ukupni vršni protok propana u jednom peradarniku:

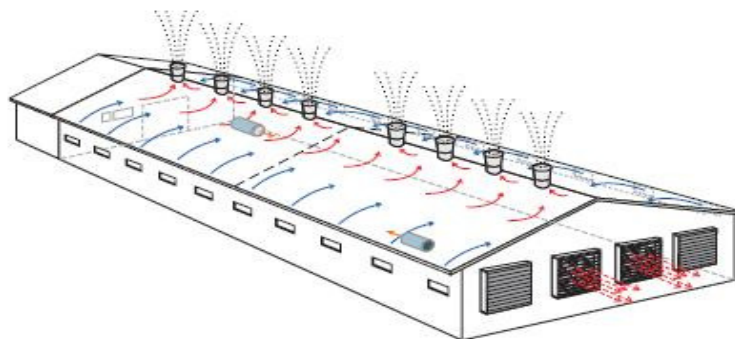
$$V_s = N_{gr} \cdot q_{Vmax} = 12 \cdot 0,55 = 6,6 \text{ [m}^3\text{/h]}$$

Sveukupni vršni protok propana za svih deset peradarnika je 66 [m<sup>3</sup>/h], a ako se uzme da je gustoća propana  $\rho_p = 2,423 \text{ [kg/m}^3\text{]}$  dobijemo da je sveukupna vršna potrošnja propana 163,2 [kg/h]. [13]

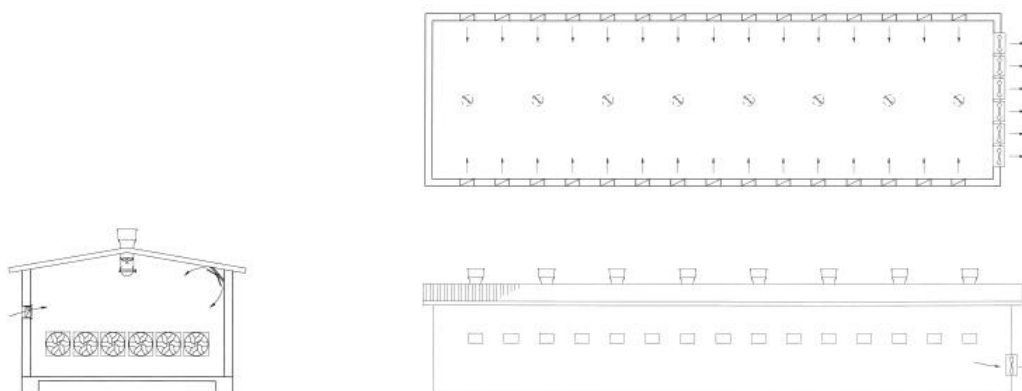
#### 4.2.2 Ventilacija peradarnika

Sustav ventilacije peradarnika ima dva načina rada: zimski i ljetni, tj. pri nižim i višim vanjskim temperaturama.

Na krajnjem poprečnom zidu ugrađeno je 4 ventilatora kapaciteta 47.470 [m<sup>3</sup>/h] po ventilatoru. Na krovu peradarnika ugrađuju se 5 krovnih ventilatora svaki kapaciteta 13.300 [m<sup>3</sup>/h]. Na uzdužnim zidovima montiraju se klapne sa zaštitnom mrežom za ulaz svježeg zraka. Dok su niže temperature odnosno kod malih pilića objekt se ventilira isključivo pomoću krovnih ventilatora koji imaju mogućnost regulacije broja okretaja, a kasnije kako temperature odnosno pilići rastu, u ventilacijski sustav uključuju se ostali ventilatori te ventilatori na kraju objekata. Ventilatori na kraju objekata rade obično u ljetnom režimu, tj. pri višim temperaturama vanjskog zraka. Kad počnu raditi svi ventilatori gase se krovni ventilatori pa se postiže usmjereno strujanje prema zadnjem dijelu objekta. Rad ventilatora je uvjetovan temperaturom koja je namještena u glavnom računalu, a koje kontrolira i vodi ventilaciju i grijanje. Otvaranje i zatvaranje klapni izvodi se automatski, pri čemu se u objektu stalno održava minimalni podtlak.



Slika 4.6. Kombinacija krovne i tunelske ventilacije peradarnika



Slika 4.7. Tlocrtni prikaz kombinirane ventilacije

Krovni ventilatori CL-600-2000 su svaki kapaciteta  $13.300 \text{ [m}^3/\text{h]}$ , ugrađeni su na krov peradarnika i vezani su na regulator okretaja.



Slika 4.8. Krovni ventilator

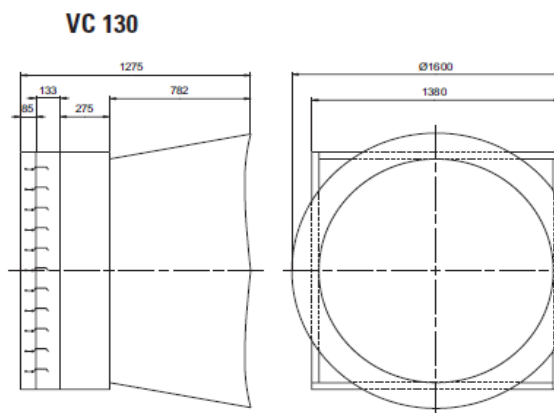


Slika 4.9. Krovni ventilator



Slika 4.10. Krovni ventilator

Ventilatori Airmaster VC130-3-1 su svaki kapaciteta  $47.470 \text{ [m}^3/\text{h]}$ , a sva četiri su smještena na stražnjem poprečnom zidu. Kako temperatura u objektu raste, ovi ventilatori se postupno uključuju u sustav ventilacije objekata, dok na kraju ne prijeđu potpuno u neki oblik tunelskog režima. Radom u „tunelskom režimu“ omogućava se u ljetno vrijeme dovoljno strujanja zraka da perad osjeti za nekoliko stupnjeva  $^{\circ}\text{C}$  nižu temperaturu nego što je izvan objekta, a što ih spašava od uginuća uslijed ljetne žege.



Slika 4.11. Dimenzije ventilatora Airmaster VC 130



Slika 4.12. Ventilator Airmaster

Klapne za ulaz svježeg zraka CL-1200-B/F su napravljene od otporne plastike. Otvaraju se u zavisnosti od rada ventilatora odnosno tako da se u objektu održava stalni podtlak. Otvaranje je potpuno automatsko pomoću dva motora. Dimenzija klapne je  $570 \times 280 \text{ mm}$ . Na vanjskom zidu ugradi se zaštitna mreža koja sprečava ulaz ptica i ostalih životinja u objekt. Predviđen je ugradnja 106 komada klapni na dva bočna zida. [10] [11]

### 4.3 Procjena toplinskog opterećenja po turnusima

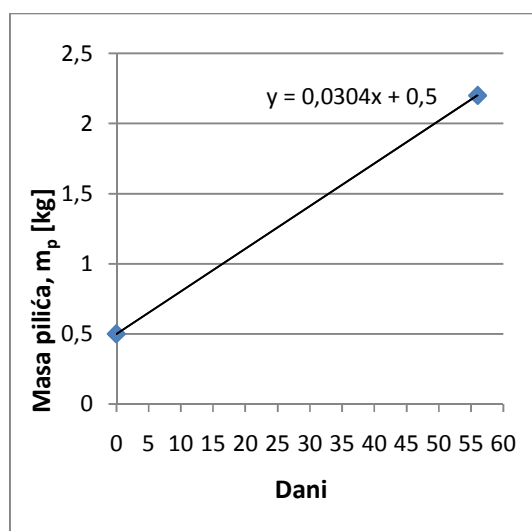
Toplinsko opterećenje objekta funkcija je vremena. Svaki oblik energetske potrošnje, bio on potrošnja energije za grijanje, zagrijavanje sanitarne tople vode ili električne energije, ima svoj dnevni, mjesečni i godišnji satni profil. Da bi se pravilno odabralo i dimenzioniralo kogeneracijsko postrojenje potrebno je napraviti krivulju toplinskog opterećenja tijekom cijele godine odnosno sezone.

Za pravilan odabir toplinskog opterećenja peradarske farme potrebni su podaci za satne temperature okoline tijekom godine, promjene unutarnje temperature s masom pilića odnosno promjena unutarnje temperature u odnosu na dane te toplinski metabolički dobici od pilića ovisni o njihovoj masi.

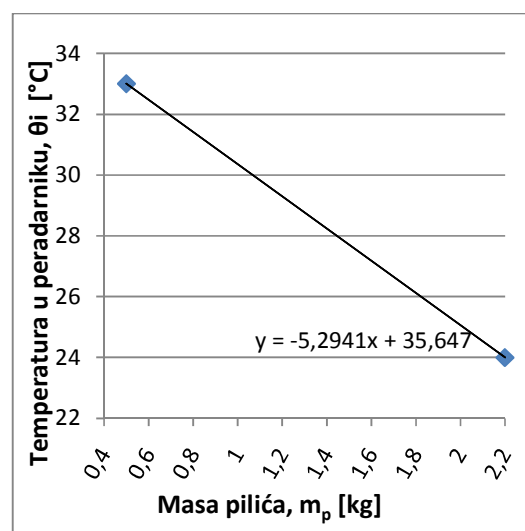
Unutarnja temperatura i metabolički dobici su ovisni o masi samih pilića.

Kako turnus traje između 55 i 57 dana tako se i masa pilića povećava. U prvom danu pilići su prosječne mase 0.5 kg dok su na kraju turnusa 2.2 kg. (slika 4.13.)

Temperatura u peradarniku mora biti najviša kod malih pilića i iznosi oko 33 °C za piliće mase 0.5 kg dok je najmanja dok su najveći i iznosi oko 24 °C za piliće mase 2.2 kg. (slika 4.14)



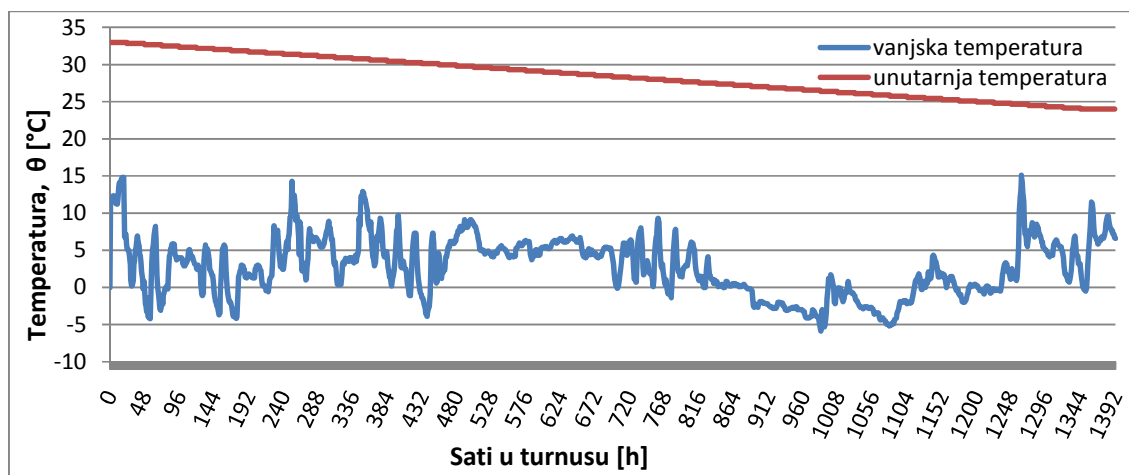
Slika 4.13. Rast mase pilića u turnusu



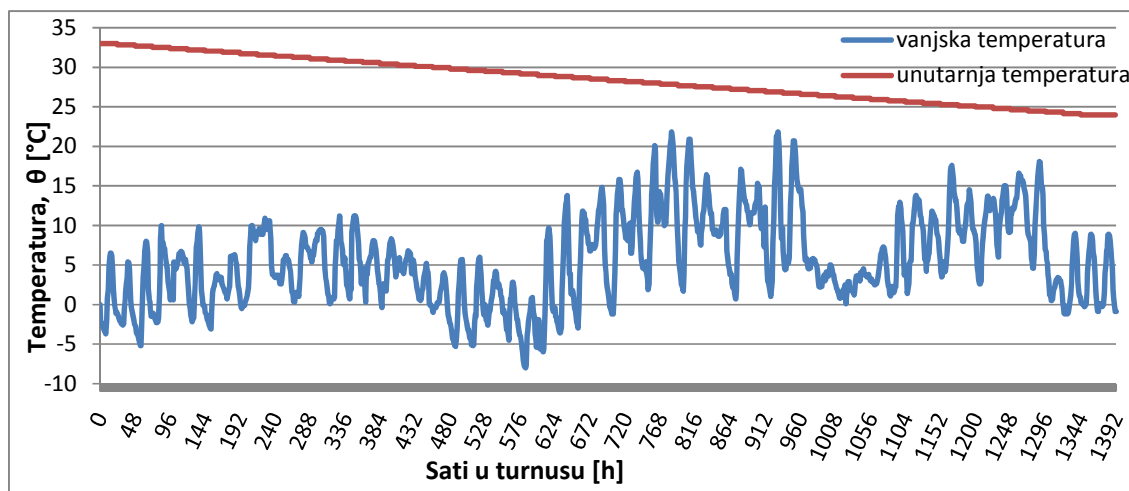
Slika 4.14. Ovisnost temperature u peradarniku o masi pilića

U razdoblju od 01.01.2008. do 31.12.2008. izmjerene su vanjske satne temperature prema kojima se radi procjena toplinskog opterećenja. Na slikama 4.15. do 4.20. prikazani su dijagrami satnih vanjskih i unutarnjih temperature za sve turnuse.

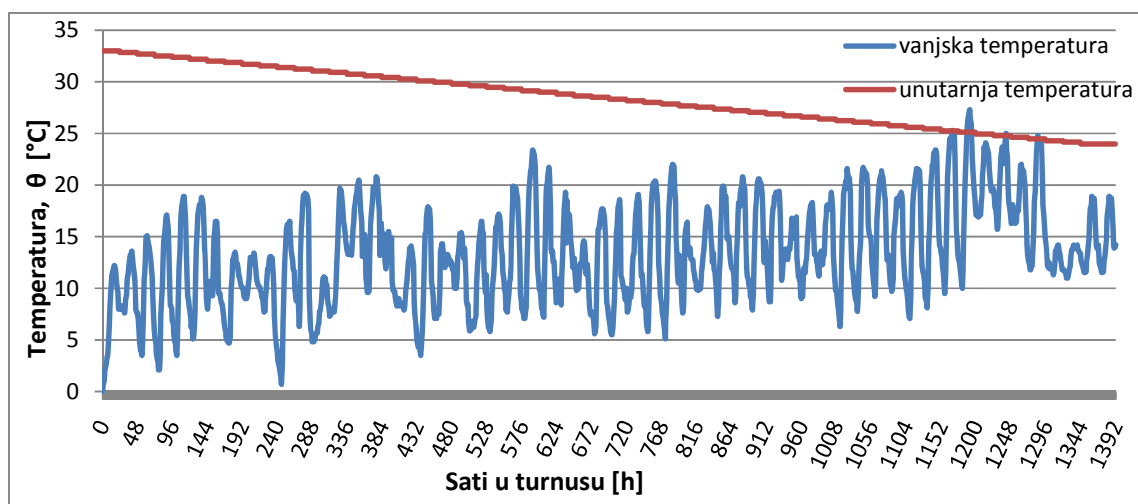




Slika 4.15. Satne temperature u razdoblju 21.11.2007. do 17.01.2008. (1. turnus)

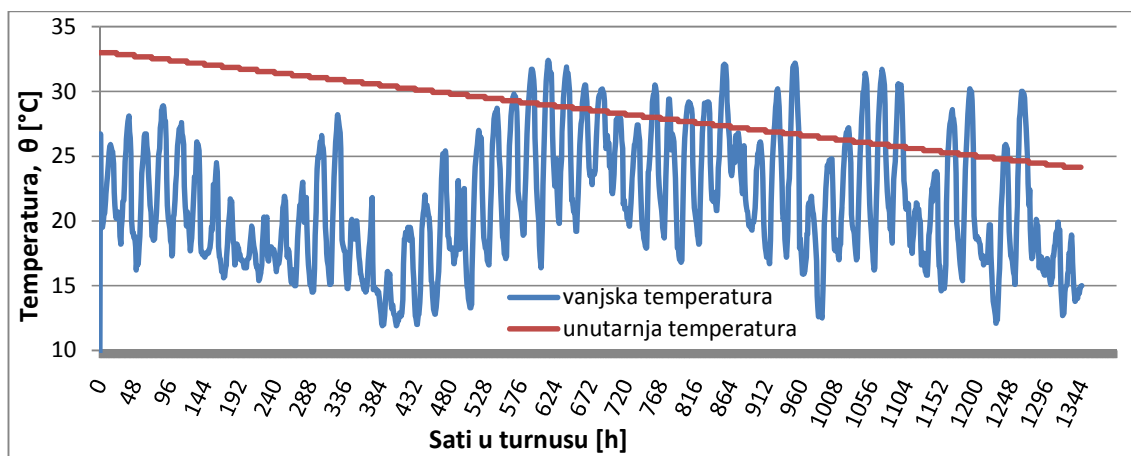


Slika 4.16. Satne temperature u razdoblju 24.01.2008. do 20.03.2008. (2. turnus)

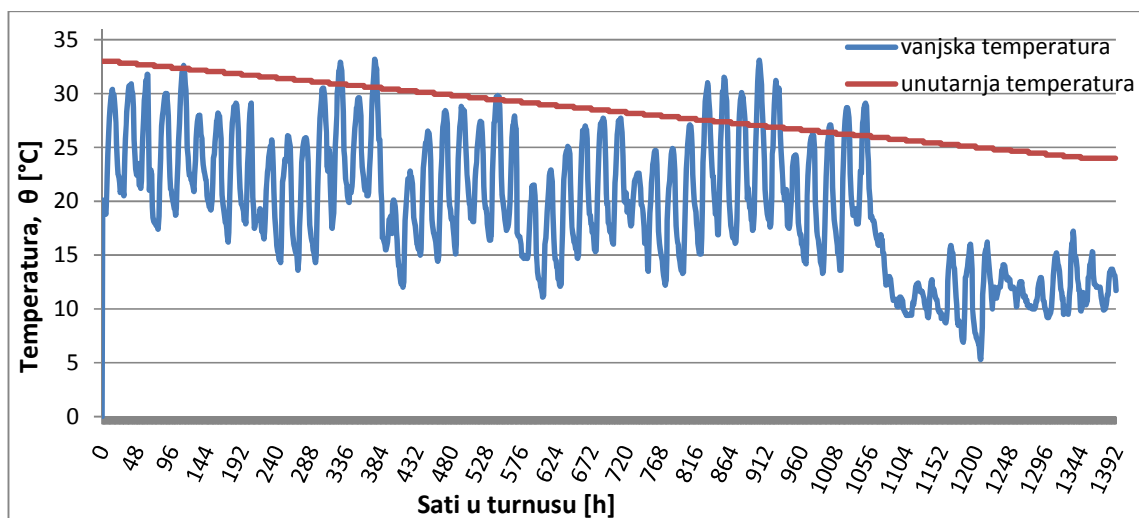


Slika 4.17. Satne temperature u razdoblju 27.03.2008. do 22.05.2008. (3. turnus)

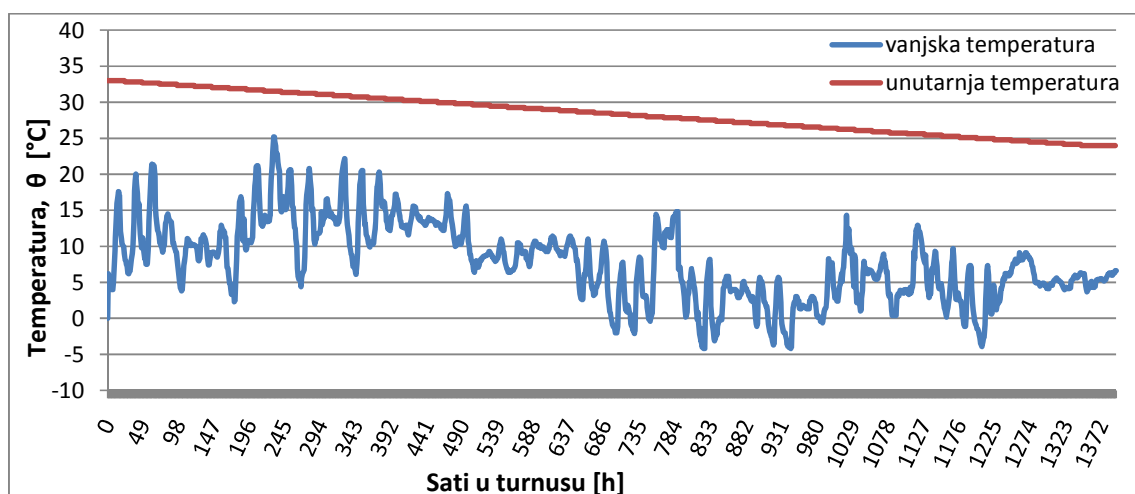




Slika 4.18. Satne temperature u razdoblju 29.05.2008. do 23.07.2008. (4. turnus)



Slika 4.19. Satne temperature u razdoblju 31.07.2008. do 26.09.2008. (5. turnus)

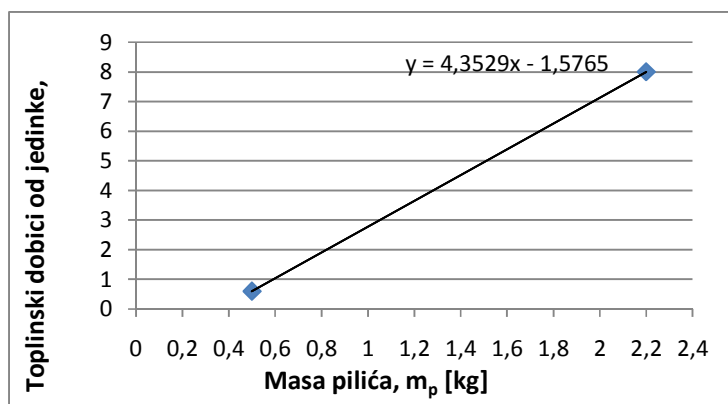


Slika 4.20. Satne temperature u razdoblju 20.10.2008. do 16.12.2008. (6. turnus)

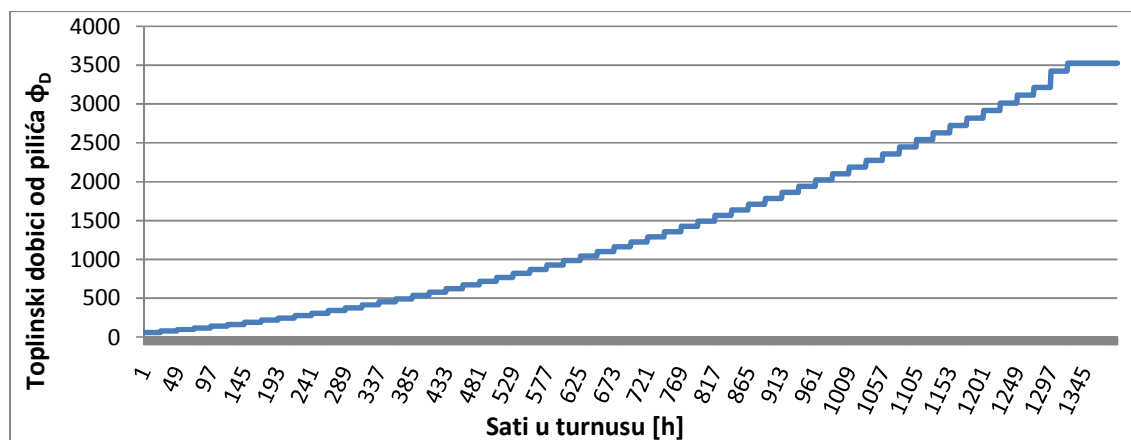
Iz dijagrama je vidljivo da su temperature na izmjerenom području poprilično različite s obzirom na godišnja doba. U cijelom danu temperature dosta variraju. Noćne temperature su značajno niže od dnevnih temperatura. Jutarnje temperature pritom redovito dosežu dnevni minimum, dok podnevne ili one malo poslije toga čine dnevni maksimum. Ova pojava posebno je izražena ljeti i u proljeće, dok je manje upadljiva zimi i u jesen.

Varijacije temperatura uvelike utječu na gubitke topline i na rad sustava ventilacije peradarnika. Kod niskih vanjskih temperatura ventilacijom se ubacuje minimalna količina zraka u peradarnike da se smanje ventilacijski odnosno ukupni gubici topline dok kod temperatura viših od unutarnjih temperatura ventilacija radi maksimalne izmjene zraka da bi se napravio osjećaj da je temperatura u peradarniku niža od stvarne.

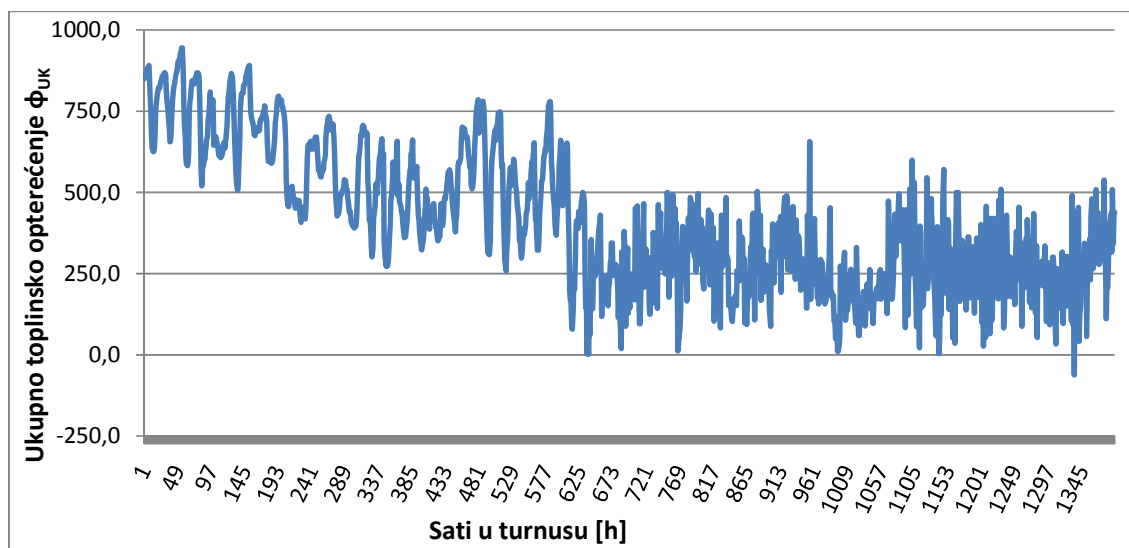
Metabolički dobici od pilića mase 0.5 kg su 0.6 W/jedinke kod temperature 33 °C, a od pilića mase 2.2 kg kod temperature 24 °C su 8 W/jedinke pa se prema tome dobiju dijagrami toplinskih dobitaka.



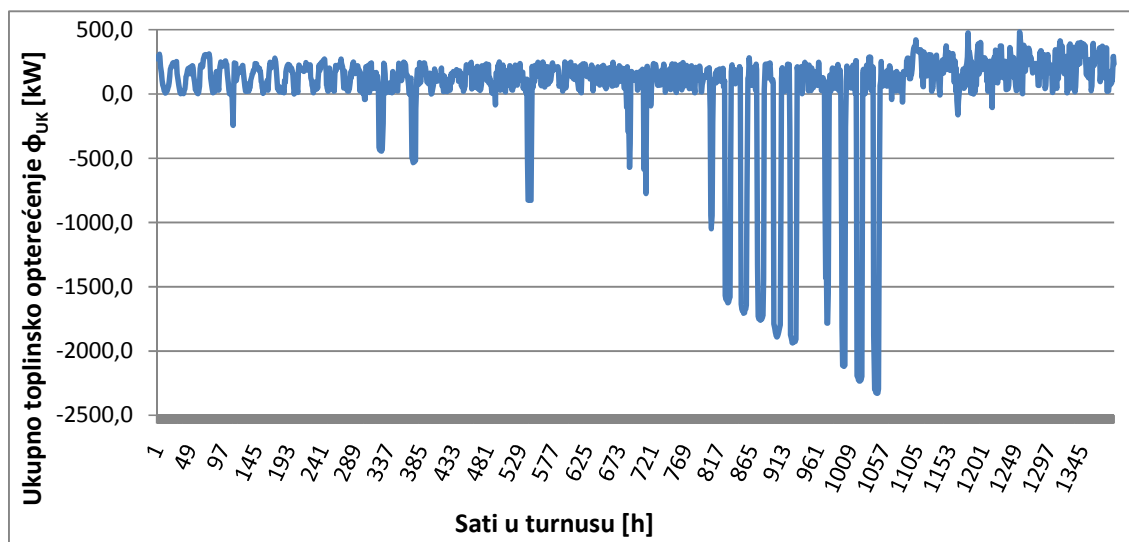
Slika 4.21. Odavanje topline pilića ovisno o njihovoj masi



Slika 4.22. Toplinski dobici od pilića u turnusu

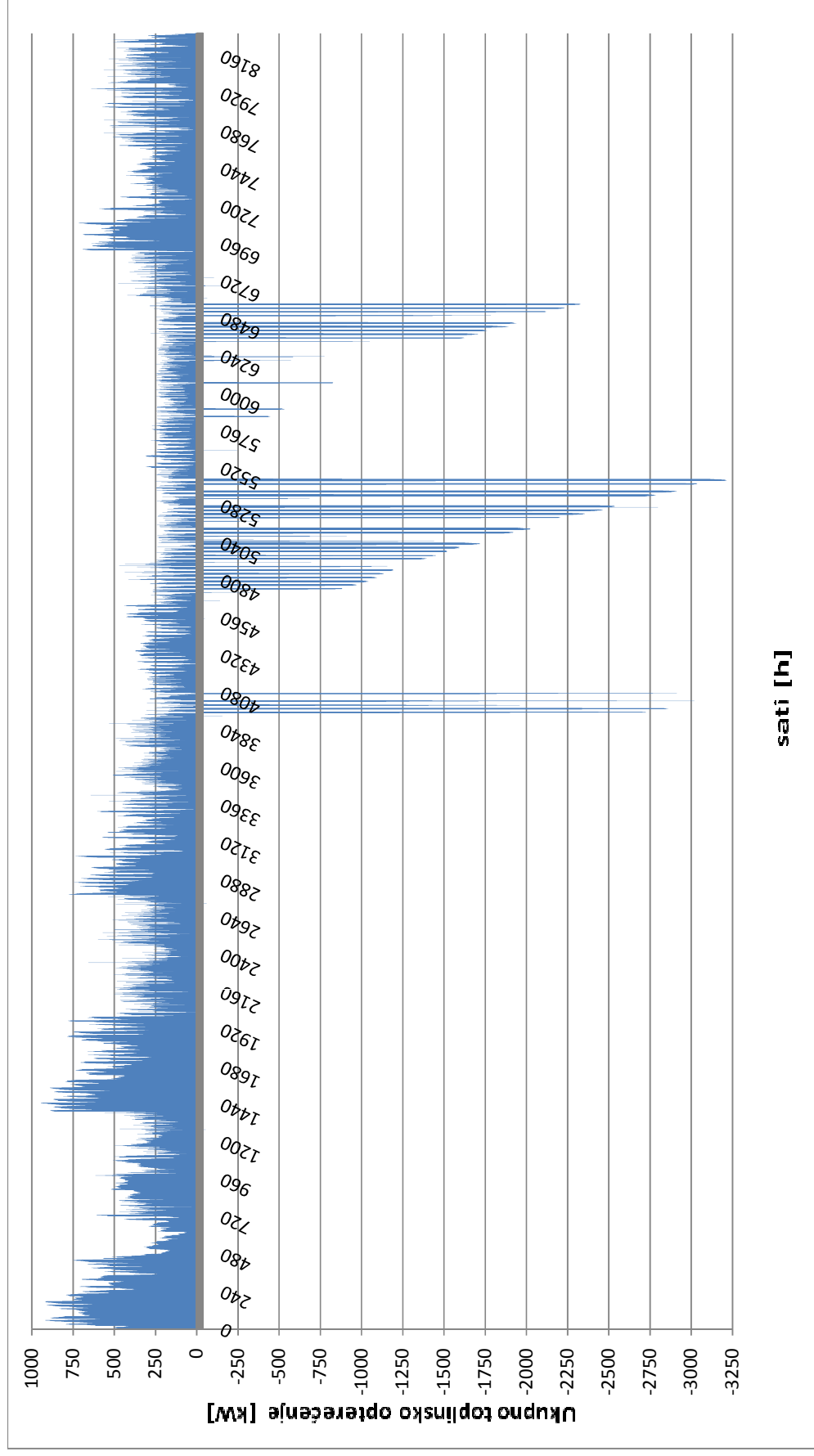


Slika 4.23. Toplinsko opterećenje u 2. turnusu (najniže vanjske temperature)



Slika 4.24. Toplinsko opterećenje u 5. turnusu (najviše vanjske temperature)

Na slikama 4.23. i 4.24. prikazani su dijagrami toplinskog opterećenja u 2. i 5. turnusu u sezoni. U njima se pojavljuju najniže odnosno najviše vanjske temperature. Proporcionalno tome su zimi na početku turnusa kada imamo najmanje toplinske dobitke od pilića, a potrebne su najviše temperature u peradarnicima i najveći toplinski gubici. U ljetnom turnusu kada su vanjske temperature veće od unutarnjih, a pilići s vremenom odaju sve više topline i zahtijevaju niže temperature u peradarnicima imamo velike toplinske dobitke. Veliku utjecaj na toplinska opterećenja peradarnika ima ventilacijski sustav koji može ubacivanjem svježeg zraka smanjivati odnosno povećavati toplinske gubitke i dobitke.



Slika 4.25. Dijagram ukupnog toplinskog opterećenja tijekom jedne sezone (od početka 1. turnusa do kraja 6. turnusa)

Kada se uzmu u obzir svi faktori koji utječu na ukupno toplinsko opterećenje ono se može izračunati odnosno prikazati na dijagramu kroz cijelu godinu (slika 4.25.). Ukupno toplinsko opterećenje dobije se zbrajanjem toplinskih gubitaka transmisijom i ventilacijom te oduzimanjem toplinskih dobitaka od pilića tokom svih 6 turnusa u godini.

Iz dijagrama (slika 4.25.) je vidljivo da je toplinsko opterećenje u ljetnim mjesecima puno manje nego u zimskim što je i očekivano. Također je vidljivo kako se opterećenje smanjuje tijekom trajanja svakog turnusa što je posljedica tovljenja pilića odnosno porasta njihove mase, a s time se i povećavaju toplinski dobici i smanjuje potrebna temperatura u peradarniku. Ekstremni toplinski dobici su za vrijeme izuzetno visokih vanjskih temperatura.

U tablici 4.4. prikazano je toplinsko opterećenje peradarnika po turnusima koje približno odgovara procijenjenoj potrošnji propana za grijanje.

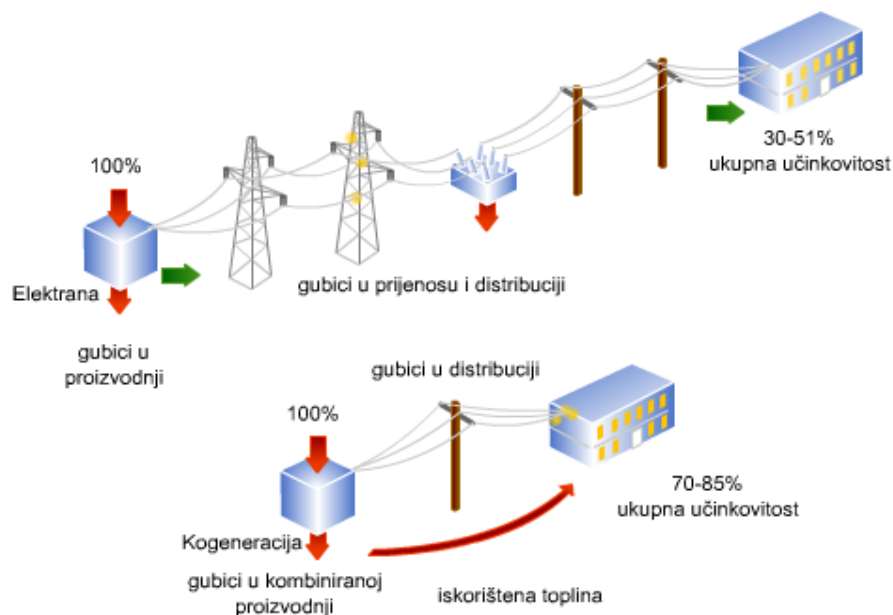
Tablica 4.4. Rezultati toplinskog opterećenja po turnusu

Turnus	Trajanje turnusa	Dana	Toplinsko opterećenje, [kWh]	Potrošnja propana [kg]
1	21.11.02.-17.01.03.	56	554.987	43.358
2	24.01.03.-21.03.03.	56	572.009	44.688
3	27.03.03.-22.05.03.	56	394.226	30.799
4	29.05.03.-23.07.03.	55	190.461	14.880
5	31.07.03.-26.09.03.	57	195.686	15.288
6	20.10.03.-16.12.03.	57	411.531	32.151
Ukupno:			2.318.900	181.164

## 5 KOGENERACIJSKO POSTROJENJE

Kogeneracija je postupak istovremene proizvodnje električne i korisne toplinske energije u jedinstvenom procesu. Kogeneracija koristi otpadnu toplinu koja nastaje uobičajenom proizvodnjom električne energije u termoenergetskim postrojenjima te se koristi za grijanje građevina, naselja ili u proizvodnim procesima. Jedan od načina korištenja kogeneracije je i trigeneracija, gdje se dio energije koristi i za hlađenje. Toplinska energija može se koristiti za proizvodnju pare, zagrijavanje vode ili zraka. Kao gorivo može se koristiti prirodni plin, biomasa, drvena građa ili vodik, a izbor tehnologije za kogeneraciju ovisi o raspoloživosti i cijeni goriva.

Prilikom klasične proizvodnje električne energije, dio energije ispušta se u okoliš kao otpadna toplina, a u kogeneraciji ta toplinska energija postaje korisna. Dakle, osnovna prednost kogeneracije je povećana učinkovitost energenta u odnosu na konvencionalne elektrane koje služe samo za proizvodnju električne energije te industrijske sustave koji služe samo za proizvodnju pare ili vruće vode za tehničke procese.



Slika 5.1. Razlika efikasnosti kogeneracije i konvencionalne elektrane

Prednosti kogeneracijskih sustava pred klasičnim sustavima s odvojenom opskrbom raznih oblika energije proizlaze prije svega iz visoke efikasnosti kogeneracijskih sustava. Pritom treba istaknuti da je ovakav stupanj iskoristivosti kogeneracijskog postrojenja svojstven režimu rada pri kojem se utroši sva toplinska energija proizvedena u sustavu. Direktna

posljedica visoke efikasnosti kogeneracijskih postrojenja niske su vrijednosti emisija CO<sub>2</sub> u atmosferu pri njihovom radu. Kogeneracija je termodinamički najpovoljnija u iskorištavanju goriva. U odvojenoj proizvodnji električne energije toplina koja se javlja kao nusprodukt mora biti bačena. Termoelektrane i općenito toplinski strojevi ne pretvaraju svu raspoloživu energiju u koristan oblik. Kogeneracija je efikasnija ako je mjesto potrošnje bliže mjestu proizvodnje, dok joj korisnost pada sa udaljenošću potrošača. Udaljenost znači da cijevi trebaju biti dobro izolirane, što je dodatna investicija, dok se struja može transportirati na daleko veću udaljenost za iste gubitke. Kogeneracijske elektrane se mogu naći u područjima sa centralnim grijanjem ili u velikim gradovima, bolnicama, rafinerijama. Kogeneracijske elektrane mogu biti projektirane da rade s obzirom na potražnju za toplinskom energijom ili primarno kao elektrana čiji se toplinski otpad iskorištava.

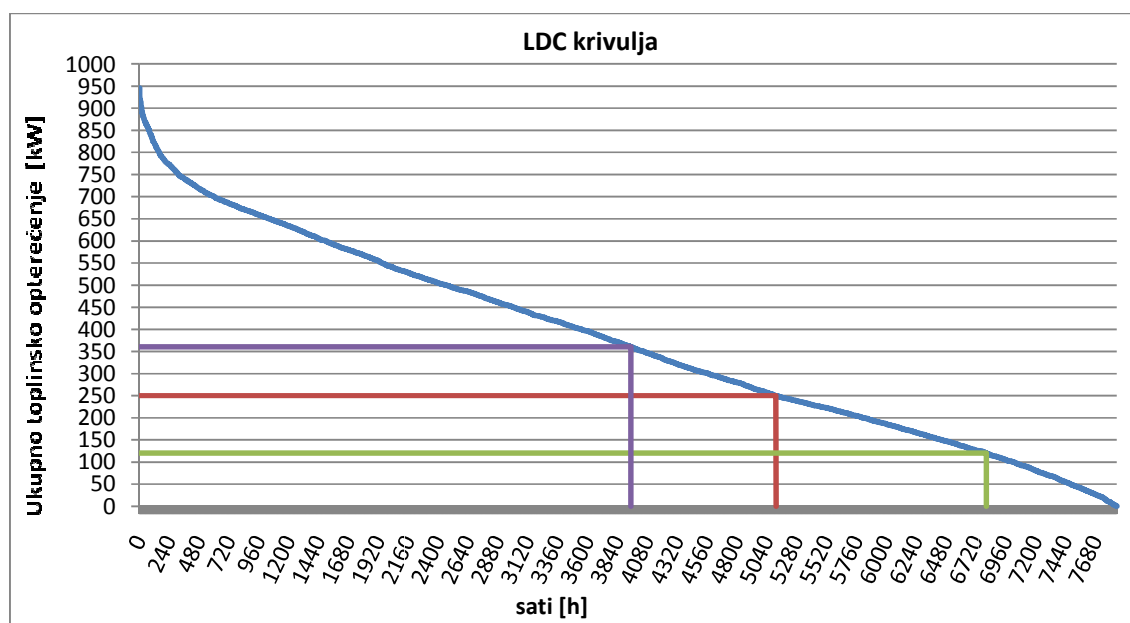
Ukupna efikasnost kogeneracije iznosi od 70 do 88 % (od 27 do 45 % električne energije i od 40 do 50 % toplinske energije), za razliku od konvencionalnih elektrana gdje je ukupna efikasnost od 30 do 51 % (električne energije).

Kogeneracije imaju značajnu ulogu kao distribuirani izvor energije zbog pozitivnih učinaka: manji su gubici u mreži, smanjenje zagušenja u prijenosu i povećanje pouzdanosti opskrbe električnom energijom. Uz sve navedeno, smanjen je i štetan učinak na okoliš. Komercijalno dostupne kogeneracijske tehnologije su parne i plinske turbine, mikroturbine, motori s unutrašnjim izgaranjem, Stirlingov stroj i gorivne ćelije, u širokom rasponu snage od 1 kW do 250 MW. [18]

## 5.1 Dimenzioniranje bioplinskog kogeneracijskog postrojenja

Odabir kogeneracijskog postrojenja izvodi se prema raspoloživoj količini goriva odnosno bioplina nastalog u bioplinskom postrojenju.

U svrhu određivanja veličine kogeneracijskog postrojenja potrebno je izraditi krivulju trajanja opterećenja. Ta krivulja se još naziva LDC krivulja (Load Duration Curve). Ona služi za ocjenu koji dio toplinskih potreba će biti pokriven toplinom iz kogeneracije. Pri konstrukciji LDC krivulje na os apscisa se nanosi broj sati, dok se na os ordinata nanosi iznos opterećenja za pojedini broj sati. Krivulja trajanja opterećenja za peradarsku farmu prikazana je na slici 5.2. [19]



Slika 5.2. Krivulja trajanja opterećenja (LDC krivulja)

LDC krivulja daje potrebne informacije o baznim toplinskim opterećenjima kao i o trajanju vršnih opterećenja. Proizvedena toplina u kogeneracijskoj jedinici je 400 kW. Ako se uzima da su prosječne toplinske potrebe fermentatora kroz cijelu godinu 30% znači da ostatak topline od 250 kW otpada za grijanje peradarnika. Iz slike 5.2. je vidljivo da se tom toplinom mogu u potpunosti zadovoljiti toplinske potrebe peradarnika u 34% sati, a u ostalih 5166 sati (66%) je potrebno dodatno dovoditi toplinu.

Međutim, toplinske potrebe fermentatora nisu jednake kroz cijelu godinu i ovise o vanjskoj temperaturi. Zimi 70% proizvedene topline u kogeneracijskoj jedinici se koristi za grijanje fermentatora dok ostalih 30% (120 kW) se koristi za grijanje peradarnika. Iz slike se vidi da se tom toplinom u potpunosti zadovoljavaju toplinske potrebe fermentatora u 13% sati odnosno potrebno je dodatno dovoditi toplinu u 6800 sati.

U ljeti fermentator treba samo 10% topline iz kogeneracije što znači da se ostalih 360 kW topline može iskoristiti za grijanje peradarnika.

Kako je svrha kogeneracijskog postrojenja na peradarskoj farmi proizvodnja električne energije iz proizvedenog bioplina u bioplinskom postrojenju ono radi maksimalnom snagom 330 dana u godini.



Prema ukupnoj godišnjoj proizvodnji bioplina  $V_{bp, god} = 1.235.000 \text{ m}^3$  odnosno dnevnoj proizvodnji bioplina  $V_{bp, d} = 3.384 \text{ m}^3$  koji ima energetska vrijednost na godišnjoj razini  $Q_{bp, god} = 7.533.500 \text{ kWh}$  odnosno dnevnoj  $Q_{bp, d} = 20.642 \text{ kWh}$  može se odabrati snaga kogeneracijskog postrojenja. Ulazna energija goriva daje snagu od 860 kW.

Odabrana kogeneracijska jedinica je proizvod tvrtke GE Jenbacher pokretana bioplinom nastalom fermentiranjem pilećeg izmeta, kukuruzne i otpadne vode. Tip odabrane kogeneracijske jedinice je JMS 208 GS-B.L. [12]



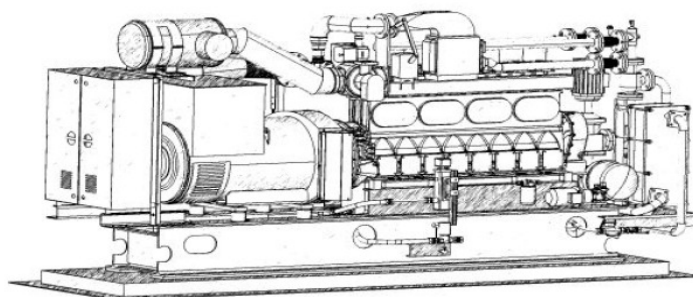
Slika 5.3. Vanjska ugradnja kogeneracijske jedinice



Slika 5.4. Vanjska ugradnja kogeneracijske jedinice

Tablica 5.1. Tehnički podaci kogeneracijskog modula JMS 208 GS-B.L

Podaci kogeneracijskog modula		
Izlazna električna snaga	$\text{kW}_{el}$	330
Izlazni kapacitet topline	$\text{kW}_{th}$	400
Ulazna snaga	$\text{kW}$	852
Potrošnja goriva temeljena na $H_d = 5 \text{ kWh/m}^3$	$\text{kW}$	170
Električna efikasnost	%	38.7
Toplinska efikasnost	%	46.9
Ukupna efikasnost	%	85.7
Vrijednost emisije	$\text{NO}_x < 500 \text{ mg/m}^3 (5\% \text{ O}_2)$	



Slika 5.5. Kogeneracijski modul JMS 208 GS-B.L

Tablica 5.2. Karakteristike motora u kogeneracijskoj jedinici

Karakteristike motora		
Tip motora		J 208 GS-C25
Konfiguracija		linijska
Broj cilindara		8
Promjer cilindra	mm	135
Hod cilindra	mm	145
Obujam motora	lit	16.6
Nominalna brzina vrtnje	min <sup>-1</sup>	1500
Srednja brzina klipa	m/s	7.25
Srednji efektivni tlak na standardnoj snazi i nominalnoj brzini	bar	16.5
Kompresijski omjer	$\epsilon$	12
Specifična potrošnja goriva u motoru	kWh/kWh	2.49
Specifična potrošnja ulja za podmazivanje	g/kWh	0.3
Težina	kg	1800
Kapacitet punjenja ulja za podmazivanje	lit	133
Na temelju oktanskog broj	MZ	100

Tablica 5.3. Dodatne informacije o kogeneracijskoj jedinici

Dodatne informacije		
Razina zvuka (motor, prosječna vrijednost na udaljenosti od 1 m)	dB(A)	92
Razina zvuka ispušnih plinova (1 m)	dB(A)	108
Protočna masa vlažnih ispušnih plinova	kg/h	1.878
Volumen vlažnih ispušnih plinova	m <sup>3</sup> /h	1.46
Maksimalno dopušteni tlak plinova poslije motora	mbar	60
Temperatura ispušnih plinova nakon punog opterećenja	°C	500
Protočne mase zraka za izgaranje	kg/h	1.726
Volumen zraka za izgaranje	m <sup>3</sup> /h	1.335
Maksimalna ulazna temperatura rashladne vode	°C	70
Maksimalni pad tlaka zraka na ulaznom filtru	mbar	10
Polazna temperatura vode	°C	90
Povratna temperatura vode	°C	70
Protok tople vode	m <sup>3</sup> /h	17.2

Tablica 5.4. Karakteristike generatora

<b>Generator</b>		
Proizvođač		STAMFORD
Tip		HCI 534 E2
Efikasnost na p.f. = 1	%	96.5
Efikasnost na p.f. = 0.8	%	95.5
Kapacitet na p.f. = 1	kW	330
Kapacitet na p.f. = 0.8	kW	327
Frekvencija	Hz	50
Napon	V	400
Klasa zaštite		IP 23
Klasa izolacije		H
Brzina vrtnje	min-1	1500
Težina	kg	1535

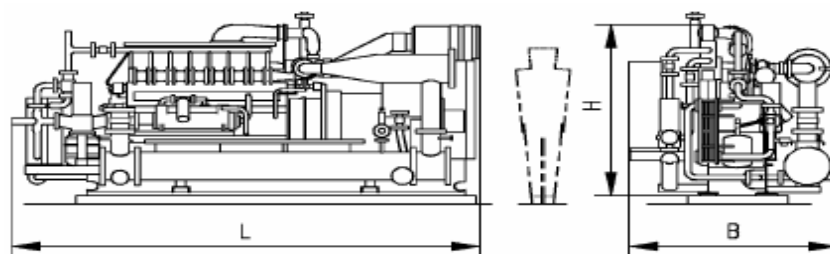
U osnovnu opremu kogeneracijskog modula spada: postolje za plinski motor, generator i izmjenjivače topline, unutarnja poluga za pobudu generatora s automatskim regulatorom napona, fleksibilna spojka, anti-vibratori, zračni filtri, automatsko podmazivanje s kontrolom i dopunom razine ulja, povezivanje komponenti s upravljačkom pločom, odušak zraka kućišta koljenastog vratila.

Osnovna oprema motora je: međuhladnjak, motorizirani rasplinjač, elektronski beskontaktni sustav za paljenje visokih performansi, pumpa za podmazivanje, filter ulja, sifon za ulje i podmazivanje izmjenjivača topline, pumpa optočne rashladne vode, cijevi za gorivo, ulje za podmazivanje i rashladnu vodu, zamašnjak generatora, odvod ispušnih plinova, amortizeri i senzori udaraca.

Dodaci motoru su: električki pokretač, električki regulator brzine, električki nadzorni uređaj za prekoračenje brzine, mjerni pretvarači i sklopke za tlak ulja, temperature rashladne vode, tlaka rashladne vode, tlaka punjenja i temperature smjese.

Upravljačka ploča modula je potpuno zatvorena s jednokrlnim vratima kabine, montirana na modulu, povezana s komponentama kogeneracijskog modula.

Tehničke specifikacije modula:



Slika 5.6. Osnovne dimenzije kogeneracijskog modula

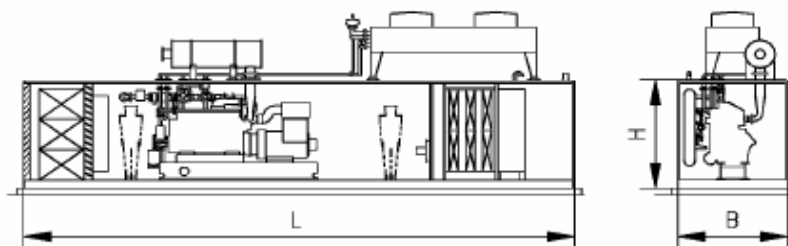
Tablica 5.5. Dimenzije modula

Osnovne dimenzije		
Duljina L	mm	4900
Širina B	mm	1700
Visina H	mm	2000
Težina (prazan)	kg	5800
Težina (pun)	kg	6000

Tablica 5.6. Dimenzije priključaka na modulu

Priključci na modulu		
Ulaz i izlaz rashladne vode	DN/PN	50/10
Izlaz ispušnih plinova	DN/PN	200/10
Gorivo	DN/PN	65/16
Priključak vode međuhladnjaka:		
Ulaz/izlaz vode iz međuhladnjaka ( 2. stupanj)	DN/PN	50/10

Tehničke specifikacije kontejnera:



Slika 5.7. Osnovne dimenzije kontejnera

Tablica 5.7. Dimenzije kontejnera

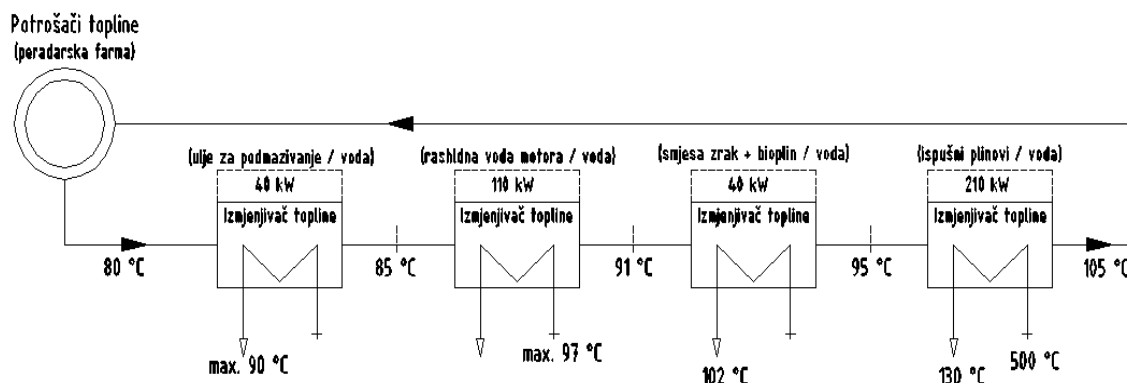
Osnovne dimenzije		
Duljina L	mm	12200
Širina B	mm	2500
Visina H	mm	2600
Težina (prazan)	kg	17200
Težina (pun)	kg	18000

Tablica 5.8. Dimenzije priključaka na kontejneru

Priključci na kontejneru		
Ulaz i izlaz rashladne vode	DN/PN	50/10
Izlaz ispušnih plinova	DN/PN	200/10
Gorivo	mm	100/16
Ulaz svježeg ulja	G	28x2"

## 5.2 Toplina iz kogeneracijske jedinice

Voda koja služi za hlađenje dijelova kogeneracijskog postrojenja postaje nosioc topline i može se upotrebljavati za različita grijanja. Toplina se predaje vodi u izmjenjivačima topline kod hlađenja ulja za podmazivanje, hlađenja motora, hlađenja smjese bioplina i zraka te kod hlađenja dimnih plinova. Primjer grijanja vode je prikazan na slici 5.8.



Slika 5.8. Shematski prikaz grijanja vode u kogeneracijskoj jedinici

## 5.3 Ušteda goriva za grijanje peradarske farme zbog upotrebe topline iz kogeneracijskog postrojenja

Od ukupne proizvedene topline (400 kW), 150 kW otpada na grijanje fermentatora dok se ostalih 250 kW može upotrijebiti za grijanje peradarnika u slučaju kada se procjenjuje da su potrebe fermentatora kroz cijelu godinu jednake. Ovom toplinom za grijanje peradarnika se može raspolagati tijekom cijele godine i ona se kreće oko 1.630.000 kWh. Upotrebom te topline smanjuju se potrebe grijanja plinom odnosno znatna je ušteda propana. Potrošnja propana u takvom slučaju je prikazana u tablici 5.9.

Tablica 5.9. Potrošnja propana

Turnus	Trajanje turnusa	Dana	Potrebno topline, [kWh]	Potrošnja propana [kg]
1	21.11.02.-17.01.03.	56	233.790	18.265
2	24.01.03.-21.03.03.	56	253.955	19.840
3	27.03.03.-22.05.03.	56	114.019	8.908
4	29.05.03.-23.07.03.	55	16.273	1.271
5	31.07.03.-26.09.03.	57	9.169	716
6	20.10.03.-16.12.03.	57	118.005	9.219
			<b>Ukupno:</b>	<b>58.220</b>

Upotrebom topline iz kogeneracije za grijanje peradarnika ukupna potrošnja propana je 58.220 kg. Bez upotrebe topline iz kogeneracije za grijanje peradarnika potrošnja bi bila 181.164 kg što je razlika od 122.944 kg.

Ušteda propana je u stvarnosti drugačija kada se gleda raspodjela topline za grijanje kroz godišnja doba. U zimskim turnusima (1. i 2.) na raspolaganju za grijanje peradarnika imamo 120 kW topline pa je potrošnja propana nešto veća nego u slučaju prije.

Tablica 5.10. Potrošnja propana u zimskim turnusima (iskorištava se 120 kW topline iz kogeneracije)

Turnus	Trajanje turnusa	Dana	Potrebno topline, [kWh]	Potrošnja propana [kg]
1	21.11.02.-17.01.03.	56	233.790	30.492
2	24.01.03.-21.03.03.	56	253.955	31.904
			<b>Ukupno:</b>	62.396

U takvom slučaju ljeti na raspolaganju imamo 360 kW topline iz kogeneracije pa gotovo da nemamo nikakvu potrošnju goriva.

U proljetnom i jesenskom turnusu procjenjuje se da je na raspolaganju 250 kW topline iz kogeneracije.

Realna potrošnja goriva prikazana je u tablici 5.11.

Tablica 5.11. Realna potrošnja goriva nakon upotrebe topline iz kogeneracije

Turnus	Trajanje turnusa	Dana	Potrebno topline, [kWh]	Potrošnja propana [kg]
1	21.11.02.-17.01.03.	56	233.790	30.492
2	24.01.03.-21.03.03.	56	253.955	31.904
3	27.03.03.-22.05.03.	56	114.019	8.908
4	29.05.03.-23.07.03.	55	16.273	100
5	31.07.03.-26.09.03.	57	9.169	20
6	20.10.03.-16.12.03.	57	118.005	9.219
			<b>Ukupno:</b>	80.643

## 5.4 Strategije vođenja kogeneracijskih postrojenja

Kogeneracijska postrojenja mogu biti vođena na nekoliko načina. Da bi se dobili optimalni rezultati upotrebe kogeneracijskog postrojenja, drugim riječima da bi se maksimalizirale uštede energije i novca, potrebno je razmotriti i usporediti osnovne strategije vođenja kogeneracijskog postrojenja. Osnovne strategije vođenja kogeneracijskih postrojenja su:

- a) Pokrivanje toplinskog opterećenja što znači da ono daje upravo onoliko topline koliko je potrebno za zadovoljavanje ukupne toplinske potrošnje objekta, tj. kogeneracijska jedinica „prati“ toplinsko opterećenje. Višak proizvedene električne energije se isporučuje (prodaje) u mrežu, dok se eventualni manjak električne energije uzima (kupuje) iz mreže.
- b) Pokrivanje potrošnje električne energije što znači da proizvedena električna energija u ovom slučaju u svakom trenutku odgovara potrošnji električne energije objekta kojem kogeneracijsko postrojenje služi kao izvor energije. Ukoliko je toplina proizvedena u kogeneraciji manja od toplinskog opterećenja, manjak topline se nadoknađuje klasičnim kotlom, dok se u slučaju viška proizvedene topline ona ispušta u okoliš.
- c) Mješovito pokrivanje opterećenja što znači da jedan period vremena pokriva toplinsko opterećenje, dok neki drugi period vremena pokriva električnu potrošnju objekta. Rad na jedan ili drugi način ovisi prije svega o ekonomičnosti rada postrojenja na pojedini način.
- d) Otočni pogon znači da kogeneracijsko postrojenje pokriva i ukupno toplinsko opterećenje i ukupnu potrošnju električne energije objekta. Ovaj način rada zahtijeva dimenzioniranje postrojenja na način da u svakom trenutku postoji dovoljno rezerve električnog i toplinskog kapaciteta za slučaj vršnog opterećenja.

Strategija vođenja bioplinskog kogeneracijskog postrojenja na peradarskoj farmi je specifičan slučaj. Svrha ovakvog postrojenja je proizvodnja bioplina tokom cijele godine i njegova upotreba za proizvodnju električne energije dok se proizvedena toplina iskorištava za grijanje. Proizvedena električna energija se isporučuje u mrežu, a toplina se iskorištava za grijanje fermentatora i peradarnika. [19]

## 6 EKONOMSKA ANALIZA

### 6.1 Investicijski i pogonski troškovi bez bioplinskog kogeneracijskog postrojenja na peradarskoj farmi

#### 6.1.1 Investicijski troškovi peradarske farme

U investicijske troškove peradarske farme ulaze sustav grijanja, sustav ventilacije, sustav napajanja vodom, prijevoz i montaža opreme, itd...

Tablica 6.1. Investicijski troškovi peradarske farme bez bioplinskog kogeneracijskog postrojenja

Opis troškova	Cijena [kn]
<b>Sustav grijanja</b>	
spremnik propana V=4.850l	250.000
plinski razvod, isparivačka stanica i ostalo	300.000
infra grijalice, Q=17,5 kW	980.000
<b>Ukupno:</b>	<b>1.530.000</b>
<b>Sustav ventilacije</b>	
krovni ventilator $Q_v=13.300 \text{ m}^3/\text{h}$	160.000
ventilator airmaster $Q_v=47.470 \text{ m}^3/\text{h}$	200.000
ostalo	60.000
<b>Ukupno:</b>	<b>420.000</b>
<b>Sustav za napajanje vodom</b>	<b>500.000</b>
<b>Prijevoz i montaža opreme</b>	<b>150.000</b>
<b>Ukupni investicijski troškovi:</b>	<b>2.600.000</b>

#### 6.1.2 Godišnji troškovi peradarske farme

Godišnji troškovi za peradarsku farmu odnose se samo na potrošnju goriva za grijanje, potrošnju električne energije i potrošnju vode.

##### *Troškovi potrošnje električne energije*

Potrošnja električne energije u godini je proračunata u 3. poglavlju i iznosi 1.373.789 kWh. Da bi se definirale godišnje uštede goriva i električne energije potrebno je definirati nabavne cijene propana i električne energije. Cijena električne energije određena je na temelju Tarifnog sustava koji predlaže HEP, a odobrava Vlada Republike Hrvatske.



Tablica 6.2. Cijene električne energije za poduzetništvo

Kategorija kupaca		Tarifni model	Tarifni element					
			Radna energija			Radna snaga	Prekomjerna jalova energija	Naknada za mjernu uslugu i opskrbu
			JT	VT	NT			
			kn/kWh	kn/kWh	kn/kWh	kn/kWh	kn/kWh	kn/kWh
Poduzetništvo	Visoki napon	Bijeli	-	0,4	0,2	51,43	0,15	106
	Srednji napon	Bijeli	-	0,51	0,26	64,83	0,15	106
	Niski napon	Plavi	0,8	-	-	-	0,15	65
		Bijeli	-	0,84	0,43	-	0,15	65
		Crveni	-	0,58	0,29	77,41	0,15	65
		Narančasti	1,11	-	-	-	-	-
		Žuti (javna rasvjeta)	0,65	-	-	-	-	31,5

Uzet je crveni tarifni model dok je pod kategoriju kupaca uzeto poduzetništvo. Po tom modelu cijena električne energije je različita u visokoj tarifi VT i niskoj tarifi NT. Za zimsko računanje vremena VT je od 06 do 22 sata, a NT je od 22 do 06 sati. Za ljetno računanje vremena VT je od 07 do 23 sata, a NT je od 23 do 07 sati. Cijena kod crvenog tarifnog modela za VT je 0.58 kn, za NT je 0.29 kn dok je mjesečna naknada za mjernu uslugu i opskrbu 65 kn.

Ako je u VT potrošeno 906.701 kWh (66.6% sati kroz godinu), a u NT 467.088 kWh (33.3% sati kroz godinu) dok 12 mjeseci plaćamo naknadu za mjernu uslugu i opskrbe dolazimo do ukupnog troška električne energije kroz godinu.

Tablica 6.3. Troškovi električne energije

		Cijena [kn]	Troškovi električne energije [kn]
Ukupno godišnje potrošeno električne energije	1.373.789		
Potrošeno električne energije u VT (16 sati dnevno što je 66.6% godišnje)	914.944	0,59	539.817
Potrošeno električne energije u NT (8 sati dnevno što je 33.3% godišnje)	457.472	0,28	128.092
<b>Ukupni troškovi električne energije:</b>			<b>667.909</b>

*Troškovi potrošnje goriva*

Godišnja potrošnja goriva za grijanje peradarnika izračunata je u 3. poglavlju i ona iznosi 181.164 kg propana. Cijena propana za u 2010. godini je 6,9 kn/kg za spremnike [15].

Godišnji troškovi potrošnje propana: 1.250.032 kn

*Troškovi potrošnje vode*

Pretpostavka je da se godišnje na farmi potroši 12.000 m<sup>3</sup> vode, a prosječna cijena vode je 4 kn/m<sup>3</sup>.

Godišnji troškovi potrošnje vode: 48.000 kn

*Troškovi održavanja*

Možemo pretpostaviti da 3% investicijskih troškova otpada na godišnje troškove održavanja.

Godišnji troškovi održavanja: 78.000 kn

*Ukupni godišnji troškovi peradarske farme*

Tablica 6.4. Ukupni godišnji troškovi na peradarskoj farmi

Opis troškova	Cijena [kn]
Potrošnja električne energije	667.909
Potrošnja goriva	1.250.032
Potrošnja vode	48.000
Održavanje	78.000
<b>Ukupni troškovi:</b>	<b>2.043.941</b>

**6.1.3 Troškovi peradarske farme**

Investicijski troškovi: 2.600.000 kn

Godišnji troškovi: 2.043.941 kn

## 6.2 Investicijski i pogonski troškovi bioplinskog kogeneracijskog postrojenja na peradarskoj farmi

### 6.2.1 Investicijski troškovi izgradnje bioplinskog kogeneracijskog postrojenja na peradarskoj farmi

Investicijski troškovi u bioplinsko postrojenje moraju biti što precizniji kako bi se moglo opravdati ulaganje u takav veliki projekt. Oni ovise najviše o veličini i vrsti postrojenja, vrsti korištenog goriva te tehničkim i ekološkim zahtjevima koji se postavljaju kao preduvjet izgradnje.

Investicijski troškovi sastoje se od troškova opreme, održavanja, projektiranja i pribavljanja dokumentacije.

Investicijski troškovi bioplinskog postrojenja prema cjeniku tvrtke Zorg iz Ukrajine [8]:

Tablica 6.5. Investicijski troškovi bioplinskog postrojenja

Opis troškova	Cijena [kn]
Projektna dokumentacija	250.000
Nadzor	200.000
Oprema	3.000.000
Konstrukcija	2.200.000
<b>Ukupno:</b>	<b>5.650.000</b>

Sustav grijanja peradarnika:

Potrebno je predvidjeti troškove za nadogradnju postojećeg sustava grijanja peradarnika sa sustavom koji iskorištava toplinu iz kogeneracije.

Tablica 6.6. Investicijski troškovi sustava grijanja

Opis troškova	Cijena [kn]
Glavni cjevovod za razvod tople vode od kogeneracije do peradarnika	800.000
Cjevovod od glavnog voda do peradarnika	300.000
Armatura, pumpe i ventili za razvod tople vode	30.000
Izolacija cjevovoda	80.000
Kaloriferi ukupnog kapaciteta Q=35kW	100.000
Ostalo	90.000
<b>Ukupno:</b>	<b>1.400.000</b>

Investicijski trošak u kogeneracijsku jedinicu uzima se 1.000 €/kW<sub>el</sub>.

- kogeneracijska jedinica ( $P_{el} = 330$  kW): 2.500.000 kn

Sveukupni investicijski troškovi nadograđenog bioplinskog kogeneracijskog postrojenja na peradarsku farmu su **9.550.000** kn.

### 6.3 Usporedba investicijskih i pogonskih troškova sa i bez ugrađenog bioplinskog kogeneracijskog postrojenja

#### 6.3.1 Godišnji prihodi

Godišnji prihodi se ostvaruju prodajom odnosno distribucijom proizvedene električne energije u mrežu. Sva proizvedena električna energija se prodaje u mrežu dok se sva potrošena električna energija kupuje. Prodajna cijena električne energije koja se dobije iz bioplinskog kogeneracijskog postrojenja snage manje od 1 MW je 1,33 kn [7]. Ukupna godišnja proizvodnja električne energije 2.455.000 kWh pa se iz njene prodaje dobije godišnji prihod.

Godišnji prihod: 3.265.416 kn

#### 6.3.2 Godišnja ušteda

Ugradnjom bioplinskog kogeneracijskog postrojenja na peradarsku farmu možemo znatno uštedjeti na potrošnji goriva. Iskorištavanjem topline iz kogeneracije za grijanje peradarnika znatno smanjujemo potrošnju propana. Toplina iz kogeneracije je dostupna tijekom cijele godine. Ukupna godišnja potrošnja propana je 80.643 kg u ovom slučaju što je 100.521 kg manje od potrošnje bez ugrađenog bioplinskog kogeneracijskog postrojenja. Cijena propana po kg je 6,9 kn [15].

Godišnja ušteda: 693.595 kn

#### 6.3.3 Godišnji troškovi

*Troškovi održavanja bioplinskog kogeneracijskog postrojenja*

Troškovi održavanja procjenjuju se kao 3% investicije.

Godišnji troškovi održavanja: 290.000 kn

*Troškovi otkupa kukuruzne silaže*

Kukuruzna silaža je potrebna kao dodatan supstrat za stabilnu i kontinuiranu proizvodnju bioplina. Godišnje je potrebno osigurati 2.500 t kukuruzne silaže. Cijena je 120 kn po toni kukuruzne silaže. [20]

Godišnji troškovi otkupa kukuruzne silaže:	300.000	kn
--	---------	----

*Troškovi potrošnje električne energije na bioplinskom kogeneracijskom postrojenju*

Za rad odabranog kogeneracijskog postrojenja (pumpe, miješalice, itd.) potrebno je osigurati električnu snagu od 35 kW. Godišnja potrošnja električne energije na bioplinskom postrojenju je približno 277.000 kWh. Godišnji troškovi električne energije obračunavaju se prema istom tarifnom modelu kao i u poglavlju 6.1.2 Godišnji troškovi peradarske farme. Za vrijeme VT je potrošeno 66.6% električne energije dok je za vrijeme NT potrošeno 33.3%.

Godišnji troškovi potrošnje električne energije:	135.450	kn
--	---------	----

**6.3.4 Rekapitulacija svih troškova i prihoda**

Investicijski troškovi peradarske farme:	2.600.000	kn
--	-----------	----

Godišnji troškovi peradarske farme:	2.043.941	kn
-------------------------------------	-----------	----

Investicijski troškovi bioplinskog kogeneracijskog postrojenja:	9.550.000	kn
---	-----------	----

Godišnji prihodi:	3.265.416	kn
-------------------	-----------	----

Godišnji troškovi bioplinskog postrojenja:	725.450	kn
--	---------	----

Godišnja ušteda ugradnjom bioplinskog kogeneracijskog postrojenja:	693.595	kn
--	---------	----

### 6.3.5 Jednostavni period povrata investicije u bioplinsko postrojenje

Jednostavni period povrata investicije dobije se dijeljenjem investicijskih troškova sa razlikom prihoda i troškova.

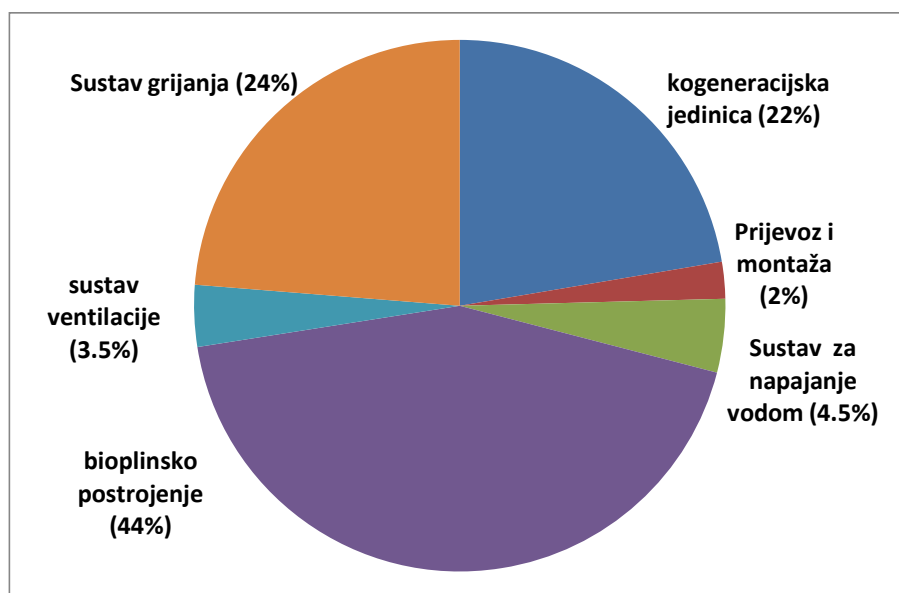
Godišnju uštedu možemo pribrojiti prihodima kod računanja jednostavnog povrata investicije.

$$\text{Jednostavni period povrata investicije} = \frac{\text{Investicijski troškovi}}{(\text{Prihodi} + \text{ušteda} - \text{troškovi})}$$

Jednostavni period povrata investicije: 3 godine

Ulaganjem u veću investiciju (gradnja bioplinskog kogeneracijskog postrojenja uz peradarsku farmu), investicijski troškovi su veći za 9.550.000 kn, ali su godišnji prihodi od prodaje proizvedene električne energije 3.265.416 kn, a godišnja ušteda je 693.595 kn, pa je jednostavni povrat investicije 3 godine.

Na slici 6.1. je prikazan odnos investicijskih troškova za cijelo bioplinsko postrojenje na peradarskoj farmi.

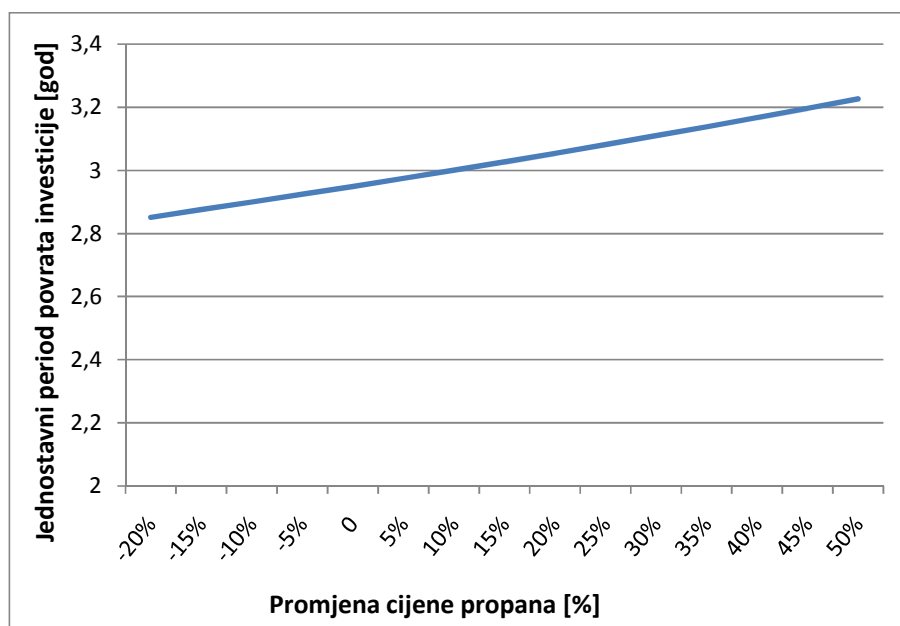


Slika 6.1. Raspodjela investicijski troškova

## 6.4 Analiza osjetljivosti

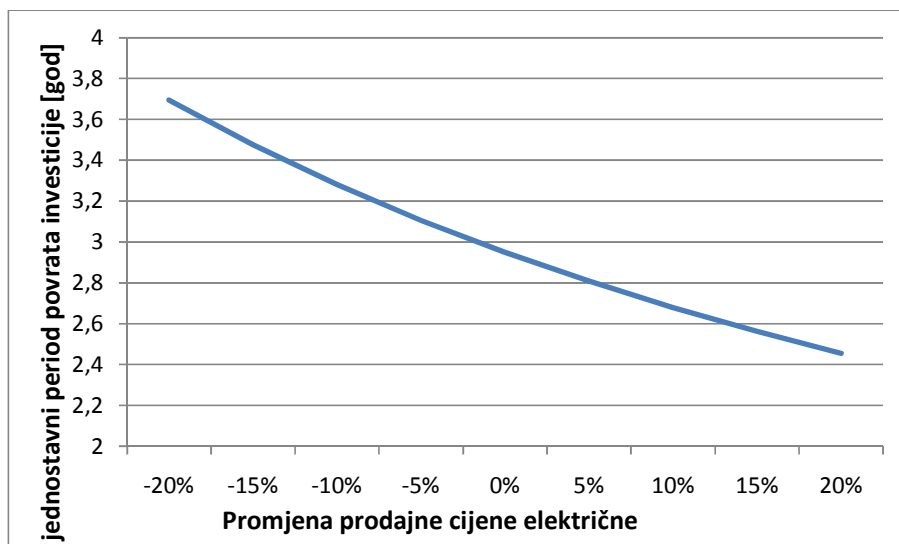
Analiza osjetljivosti služi za dobivanje uvida u optimalne iznose cijena koje povećavaju isplativost postrojenja. Potrebno je razmotriti utjecaj promjenjivih troškova na isplativost investicije u bioplinsko kogeneracijsko postrojenje. Troškovi investicije i održavanja relativno su konstantni i nisu skloni promjenama s vremenom. U promjenjive troškove spadaju cijena goriva koja je sklona čestim promjenama, cijena električne energije i cijena kukuruzne silaže. Valja još napomenuti da se u promjenjive troškove može ubrojiti i količina proizvedene električne energije koja ovisi o količini proizvedenog bioplina. [19]

Na slici 6.2. se vidi kako promjene cijene goriva utječu na jednostavni period povrata investicije uz konstantnu proizvodnju bioplina, konstantne cijene električne energije i kukuruzne silaže. Ako cijena propana za grijanje opada imamo manji period povrata investicije.



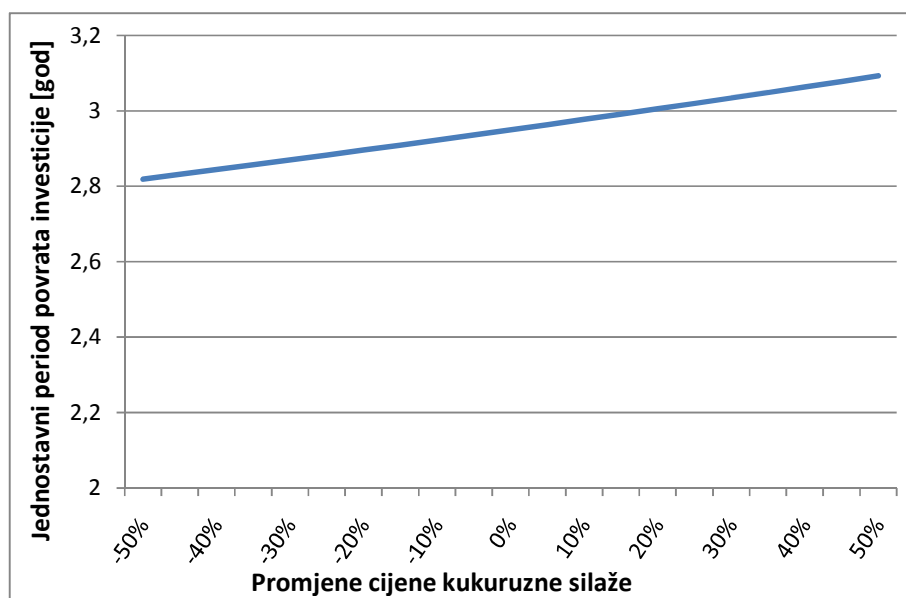
Slika 6.2. Ovisnost jednostavnog perioda povrata investicije o cijeni propana

Na slici 6.3. je prikazan utjecaj cijena električne energije na jednostavni period povrata investicije. Kako prodajna cijena električne energije raste tako se smanjuje period povrata investicije. Cijena propana i kukuruzne silaže je konstantna kao i proizvodnja bioplina.



Slika 6.3. Ovisnost jednostavnog perioda povrata investicije o omjeru prodajne i nabavne cijene električne energije

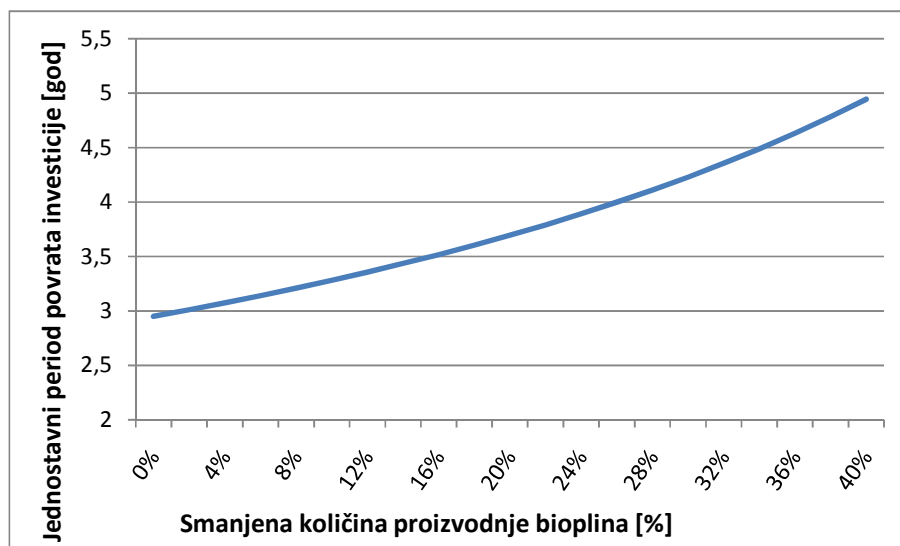
Slika 6.4. prikazuje kako se jednostavni povrat investicije mijenja s promjenom cijene kukuruzne silaže dok su cijene električne energije i goriva konstantne kao i proizvodnja bioplina.



Slika 6.4. Ovisnost jednostavnog perioda povrata investicije o cijeni kukuruzne silaže

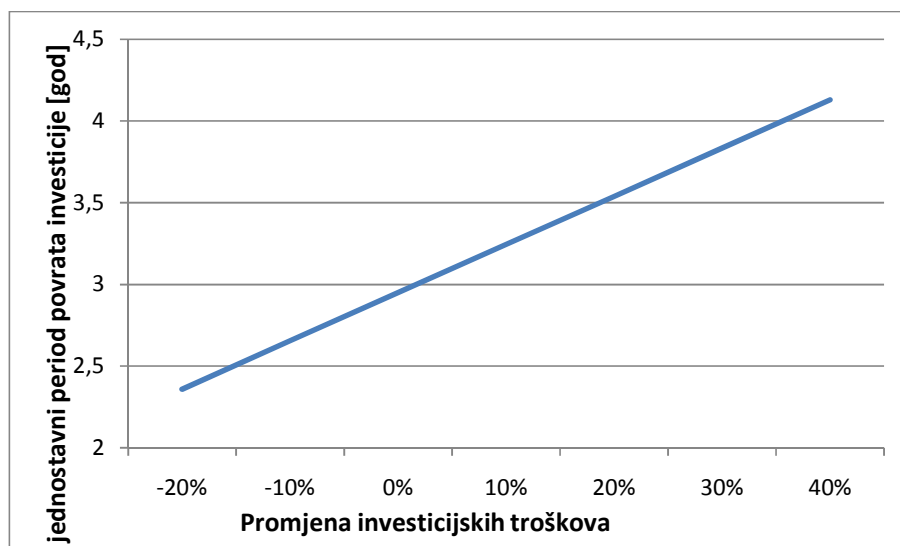


Na slici 6.5. se vidi kako smanjena proizvodnja bioplina utječe na jednostavni period povrata investicije ako su cijene električne energije, goriva i kukuruzne silaže konstantne.



Slika 6.5. Ovisnost jednostavnog perioda povrata investicije o proizvodnji bioplina

Na slici 6.6. prikazano je kako jednostavni period povrata investicije ovisi o investicijskim troškovima.



Slika 6.6. Ovisnost jednostavnog perioda povrata investicije o investicijskim troškovima

## **7 ZAKLJUČAK**

Kako je proizvodnja i korištenje bioplina za pogon kogeneracijskog postrojenja troškovno i energetski učinkovit način zbrinjavanja organskog otpada nastalog intenzivnom peradarskom proizvodnjom, cilj ovog rada bio je razmatranje opravdanosti izgradnje bioplinskog kogeneracijskog postrojenja na peradarskoj farmi zbog poticajnog zakonodavnog okruženja Republike Hrvatske, široke raspoloživosti tehnologija za pretvorbu sirovina u bioplin kao i korištenje bioplina u proizvodnji električne i toplinske energije.

U radu je prikazani godišnji potencijal proizvodnje bioplina te je procijenjeno da je proizvodnja bioplina kontinuirana tijekom cijele godine. Kako se ne očekuju značajne promjene količine i sastava bioplina može se reći da je proizvodnja električne energije i topline u kogeneracijskom postrojenju kontinuirana. Nakon određivanja potreba peradarske farme za toplinom i električnom energijom te određivanja godišnjeg potencijala proizvodnje bioplina u bioplinskom postrojenju odabrana je kogeneracijska jedinica. Odabirom i dimenzioniranjem kogeneracijske jedinice proizvodi se električna energija koja se sva distribuira odnosno prodaje u elektroenergetski nacionalni sustav zbog poticajnih cijena otkupa. Osim proizvodnje električne energije u kogeneracijskom postrojenju proizvodi se i topline koja se koristiti za grijanje peradarske farme. Toplina iz kogeneracije je dostupna tijekom cijele godine i ima znatan utjecaj na uštedu potrošnje goriva za grijanje peradarske farme. Početni investicijski troškovi za bioplinsko kogeneracijsko postrojenje su dosta visoki, ali zato imamo godišnje prihode od proizvedene i prodane električne energije te smanjujemo godišnje troškove od potrošnje goriva. U praksi se uzima da je investicija isplativa ako je jednostavni period povrata manji od 5 godina što je i slučaj u ovom radu.

Na kraju možemo zaključiti da proizvodnja i korištenje bioplina ima pozitivan učinak na okoliš i društveno-gospodarske koristi. Gradnjom bioplinskih postrojenja te proizvodnjom bioplina poboljšavaju se lokalno gospodarski uvjeti i osiguravaju radna mjesta u ruralnim područjima te se povećava kupovna moć u regiji, a što se tiče utjecaja na okoliš smanjuju se emisije stakleničkih plinova i ublažavaju posljedice globalnog zagrijavanja.

## 8 LITERATURA

- [1] Al Seadi T., Rutz D., Prassl H., Kottner M., Finsterwalder T., Volk S.; *Priručnik za bioplin*; 2008.
- [2] Recknagel, Sprenger, Schramek, Čeperković; *Grejanje i klimatizacija*; Interklima; Vrnjačka Banja, 2004.
- [3] Wiedemann K.; How to use biogas; New energy; 1/2010., str.83-93
- [4] Tehnologije bioplinskih postrojenja, objavljeno na:  
[www.farmtec.cz/hr/page\\_1\\_5\\_1.html](http://www.farmtec.cz/hr/page_1_5_1.html)
- [5] <http://hr.wikipedia.org/wiki/Bioplin>
- [6] Potencijali za bioplinska postrojenja i projekti u fazi planiranja, objavljeno na:  
[www.sumari.hr/biomasa/cetvrtidanibiomase/KralikNasice.pdf](http://www.sumari.hr/biomasa/cetvrtidanibiomase/KralikNasice.pdf)
- [7] Otkupne cijene za isporučenu električnu energiju povlaštenih postrojenja, objavljeno:  
[www.mojaenergija.hr/index.php/me/Knjiznica/Teme/Obnovljivi-izvori-energije/Poticanje-OIE/Poticanje-proizvodnje-elektricne-energije-iz-OIE-i-kogeneracije](http://www.mojaenergija.hr/index.php/me/Knjiznica/Teme/Obnovljivi-izvori-energije/Poticanje-OIE/Poticanje-proizvodnje-elektricne-energije-iz-OIE-i-kogeneracije)
- [8] Poultry farms biogas plant, objavljeno na:  
<http://zorg-biogas.com/biogas-plants/industrial-solutions/biogas-plant-for-poultry-dung>
- [9] [www.envitec-biogas.de](http://www.envitec-biogas.de)
- [10] Sustavi grijanja i ventilacije peradarnika, objavljeno na:  
[www.poultryventilation.engr.uga.edu/tips](http://www.poultryventilation.engr.uga.edu/tips)
- [11] [www.bigdutchman.de](http://www.bigdutchman.de)
- [12] Karakteristike kogeneracijske jedinice, objavljeno na:  
[http://www.cogeneration.com.ua/img/zstored/J208V25\\_en.pdf](http://www.cogeneration.com.ua/img/zstored/J208V25_en.pdf)

- [13] Proračun plinskih infra grijalica, objavljeno na:  
[www.plinotehnika.com](http://www.plinotehnika.com)
- [14] Cijena električne energije, objavljeno na:  
<http://www.hep.hr/ods/kupci/tarifni.aspx>
- [15] Cijena propana, objavljeno na:  
[http://www.proplin.hr/cjenik\\_autoplina.html](http://www.proplin.hr/cjenik_autoplina.html)
- [16] Strategije energetskog razvoja Republike Hrvatske  
[http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2009\\_10\\_130\\_3192.html](http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2009_10_130_3192.html)
- [17] Lončar D., Tuković Ž., Schauperl Z.; Završno izvješće o provedbi energetskog audita; 2005.
- [18] Kogeneracija, objavljeno na:  
<http://www.hrote.hr/hrote/znati/Kogeneracija/default.aspx>
- [19] Lipošćak M., Diplomski rad: Primjene malih kogeneracijskih postrojenja u Republici Hrvatskoj; 2002.
- [20] Otkupna cijena kukuruzne silaže, objavljeno na:  
<http://www.agroklub.com/ratarstvo/iz-kukuruzne-silaze-na-jesen-bioplina-i-struja/2819/>